

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Professor Dr. Dr. M. Herrmann)
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE HÄRTE DES
SCHMELZES AN MENSCHLICHEN ZÄHNEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des
Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
an der
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von
Sigrid Wallau-Giloi
Zahnärztin in Sobernheim/Nahe

1962



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554410_0016

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Professor Dr. Dr. M. Herrmann)
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE HÄRTE DES
SCHMELZES AN MENSCHLICHEN ZÄHNEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des
Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
an der
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz



Vorgelegt von
Sigrid Wallau-Giloi
Zahnärztin in Sobernheim/Nahe

1962

Dekan: Prof. Dr. H. Bredt

Referent: Priv. Doz. Dr. F. Rozeik

Coreferent: Prof. Dr. Dr. M. Herrmann



I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

I. Einleitung	1
II. Literatur	
1) Mikroskopische Anatomie des Schmelzes	3
2) Entwicklung der Zahnhartsubstanz	6
3) Histogenese des Schmelzes	8
4) Das biologische Verhalten des Schmelzes	10
5) Die Remineralisation	16
6) Die Schmelzreifung	23
III. Eigene experimentelle Untersuchungen	
1) Erklärung des Versuchsmaterials	29
2) Herstellung der Schliffpräparate	29
3) Härtemessverfahren	32
4) Der Aufbau des " Durimet "	33
5) Ausführung der Härteprüfung	37
6) Ergebnisse	43
a) Tabelle VII	43
b) Tabelle VIII	43
c) Tabelle IX	47
d) Tabelle X	51
e) Tabelle XI und	55
Tabelle XIa	56
f) Tabelle Va	60
g) Tabelle VIa	60

IV. Diskussion	64
V. Schlußbetrachtung	70
VI. Zusammenfassung	71
VII. Anhang	74
VIII. Literaturverzeichnis	80

I. E I N L E I T U N G

Der Schmelz zeichnet sich durch seine große Härte aus, damit er wahrscheinlich nicht so leicht den Abnutzungserscheinungen während des Kauaktes und dem Zerfall durch die Karies unterliegt. Die Voraussetzung für die Widerstandsfähigkeit des Schmelzes ist eine, während der Zahnentwicklung ungestörte Mineralisation, da nach S t u d n i c k a und Mitarbeiter (1) schlecht-mineralisierte Zähne härtemäßig minderwertig sind.

Schon früher sind verschiedene Schmelzhärtemessungen durchgeführt worden, um durch Vergleiche oder Zahlenwerte die Härte des Schmelzes verständlich zu machen. Nach Untersuchungen H o p p e ' s (2) kann die Härte des Schmelzes der Härte des Apatits gleichgesetzt werden. Die Untersuchungen von B u r g (3) an menschlichen Zähnen ergeben ein Härteverhältnis zwischen Schmelz und Dentin von 12 : 7, während die vergleichenden Ritzhärtemessungen von P r o e l l und S c h u b e r t (4) an Hundezähnen ein Verhältnis von 12 : 8 erzielen. Nach diesen Härtemessungen erweist sich der Schmelz als nicht ganz doppelt so hart wie das Dentin. Nach Untersuchungen von A t k i n s o n und S a u n s b u r y (5) betragen die durchschnittlichen Härtezahlen für Zahnschmelz:

Ältere bleibende Zähne 754 RHN = Vickershärte 301,6

Jüngere bleibende Zähne 808 RHN = Vickershärte 323,2

Die hier vorliegende Arbeit hat die Aufgabe, vergleichende Messungen an verschiedenen Schmelzzonen innerhalb verschiedener Zahnkronenabschnitte bei verschiedenem Alter zu untersuchen und wiederzugeben.

II. L I T E R A T U R

1) Mikroskopische Anatomie des Schmelzes.

Der Schmelz ist das härteste und wasserärmste Gewebe des Körpers. (F i s c h e r (21)). Er überzieht das Dentin im Kronenbereich kappenartig und hat seine größte Dicke im Bereich der Höcker bzw. der Schneidekanten. Er besteht im wesentlichen aus Hydroxylapatit (H e l m c k e (7)). Der anorganische Bestandteil umfaßt 96 bis 98 %, der organische Bestandteil 2 bis 4 %.

Der makroskopisch scheinbar strukturlose Schmelz setzt sich mikroskopisch aus Schmelzprismen von annähernd sechseckiger Form und einer interprismatischen Substanz zusammen, die minder verkalkt sein soll und von manchen Autoren auch als Kittsubstanz bezeichnet wird, obwohl diese Funktion nicht nachgewiesen ist.

Eine vielfache Abweichung der Prismenform ist in der Jugend als auch im Alter zu beobachten, indem ovale, runde und ganz unregelmäßige Formen durch Ineinanderpressung der in verschiedenem Grade verkalkten und versteifenden Teile der entstehenden Prismen zustande kommen. (K o h à r i und B o n a (8)). Sie durchziehen den Schmelz unterbrechungslos von der Oberfläche bis zur Schmelz-Dentin-Grenze, wobei ihre Hauptrichtung radiär verläuft.

Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen wies H e l m c k e (7) u.a. die letzten Bauelemente des menschlichen Schmelzes nach. Es handelt sich um Monokristalle aus Hydroxylapatit von einer Länge von etwa 500 - bis 1000 μ und einer Breite von 5 - bis 10 μ , die nicht regellos im Schmelz verteilt sind, sondern kometenschweifartig auseinanderstrahlen, wobei sie allmählich divergierend den Eindruck eines fiederartig zusammengesetzten Gebildes hinterlassen.

H e l m c k e konnte keine interprismatische Substanz oder eine organische Prismenhülle ermitteln und sieht daher die im Lichtmikroskop angegebene Erscheinung einer Prismenscheide und interprismatischen Substanz nur als einen Täuschungseffekt an. Er stellte fest, daß sich an der Grenze zweier Prismen die Kristalle so eng ineinander verzahnen, daß überhaupt kein Platz für eine Prismenscheide oder eine interprismatische Substanz bleibt. Der Übergang von einem zum anderen Prisma ist nur durch die Richtungsänderung der Kristall-Längsachsen zu unterscheiden.

Bei H ö h l i n g (9) wird das Wort Schmelzprisma in Anführungsstriche gesetzt, da nach seinen Ergebnissen kein echtes Prismengebilde vorlag. Mit Hilfe der Ultramikrotomschnitt-Technik an nicht entmineralisierter Substanz führte er Schmelzuntersuchungen im Elektronenmikroskop durch und fand ebenfalls zwischen den Schmelz-

prismen keine organische Prismenscheide.

Wird ein radiärer Schmelzschliff schräg gegen einfallendes Licht gehalten, so zeigt der Schmelz abwechselnd helle und dunkle Streifen. Es handelt sich um einen optischen Effekt, der seine Erklärung in den verschiedenen Lichtreflexen der einander entgegenlaufenden Schmelzprismen findet. Dies sind S c h r e - g e r' sche Streifen oder Para- und Diazonien. (W e t z e l (6), R h e i n w a l d und S t a e h - l e (10), M e y e r (16) u.a.).

Zu erwähnen ist noch eine Querstreifung in den Prismen, die in regelmäßigen Abständen von der Kronenspitze wurzelwärts verläuft und als R e t z i u s - Streifen bezeichnet wird. Die Entstehung dieser Streifen schreibt man einer rythmischen Verkalkung der Prismen zu. Wo sie an der Oberfläche münden, entsteht eine leichte Einziehung, die von zwei Wülstchen eingefasst wird. Man spricht hier von Perikymatien, deren Vorkommen an Milchzähnen nicht beobachtet wird.

(W e t z e l (6), R h e i n w a l d und S t a e h - l e (10), M e y e r (16), F i s c h e r (21) u.a.).

Die Härte des Schmelzes wird bestimmt durch die Quantität und Qualität der in das Gerüst eingelagerten Mineralien. (R h e i n w a l d und S t a e h l e (10)).

Die chemische Zusammensetzung des menschlichen Schmelzes:

Schmelz

% vom Trocken-
gewicht

Ca	35,41	Armstrong u. Brekhus (11)
P	17,45	Armstrong u. Brekhus (11)
Mg	0,30	Armstrong u. Brekhus (11)
CO ₂	3,00	Armstrong u. Brekhus (11)
Na	0,25	Bowes u. Murray (12)
K	0,05	Bowes u. Murray (12)
Pb	0,005	Maulbetsch, Rutishauser (13)
Zn	0,015	Cruickshank (14)
Fe	0,022	Murray, Glock u. Lowater (15)
Cl	0,3	Bowes u. Murray (12)
F	0,025	Bowes u. Murray (12)

2) Entwicklung der harten Zahnschmelzsubstanz.

Bei den allgemeinen Betrachtungen über den Schmelz soll auch hier kurz seine Anlage und Entwicklung erwähnt werden.

Meyer (16) beschreibt, daß nach der äußerlichen Formierung der Mundhöhle die Zahnbildung am 40. Entwicklungstag beginnt. Das Mundhöhlenepithel wächst dort ins Bindegewebe hinein, wo später die Zahnreihen stehen sollen. Aus einem anfänglichen Wall entsteht eine Zahnleiste, deren Epithel bei der Zahnentwicklung die wichtigen Aufgaben der Schmelzbildung, der Formgebung

der Krone und der Wurzel zufallen. An der Zahnleiste entstehen an der Stelle der späteren Zähne die Knospen, aus denen Kappen und schließlich Glocken werden. Erst nachdem die Glockenform zustande gekommen ist, kann die Bildung der Hartsubstanzen beginnen. Aus der Hauptmasse des Glockenepithels ist eine eiweißreiche lockere Epithelmasse, die sogenannte Schmelzpulpa, entstanden. Es hat sich eine äußere Begrenzung der Schmelzpulpa, als äußeres Schmelzepithel und eine innere Begrenzung, als inneres Schmelzepithel differenziert. Die innerste, an das Bindegewebe angrenzende Schicht, besteht aus palisadenförmigen Zellen, mit schmelzbildender Funktion, den Ameloblasten. Aus dem Bindegewebe gehen die Odontoblasten hervor, die als Dentinbildner dem inneren Schmelzepithel anliegen. Die Dentinbildung eilt der Schmelzbildung immer etwas voraus.

Langsam kommt es durch den Schwund der Schmelzpulpa und der zentrifugalen Dickenzunahme des Schmelzes zur Vereinigung des äußeren- und inneren Schmelzepithels. Schließlich legt sich nach Emporwachsen des Zahnes, infolge des Wurzelwachstums, das "vereinigte Schmelzepithel" an das Mundhöhlenepithel, um bald zu schwinden und der durchbrechenden Zahnspitze, bedeckt mit dem Schmelzoberhäutchen, Platz zu machen. Nachdem die Zahnkrone vollkommen in die Mundhöhle ragt, ist auch der Zahnfleischsaum fertiggebildet.

Nach der Schilderung der Zahnentwicklung soll noch die Entstehung des Schmelzes betrachtet werden.

3) Die Histogenese des Schmelzes.

Die Schmelzbildung wird von spezifischen Zellen, den Ameloblasten (Adamantoblasten, Ganoblasten) ausgeführt. Diese eigentlichen Schmelzbildner sind palli-sadenförmig aufgestellte, zylindrische Zellen, deren Kern peripher liegt. Die einzelnen Zellen sind in eine Interzellulärsubstanz eingebettet, die nach innen und außen mit einem Schlußleistennetz abschließt. In Richtung des Dentins bildet jeder Ameloblast zu Beginn der Schmelzentwicklung den sogenannten T o m e s' schen Fortsatz. Gleichzeitig tritt Interzellulärsubstanz durch das Schlußleistennetz, um den Ameloblastenfortsatz zu umgeben. Von zentral nach peripher bauen die Ameloblasten um ihren T o m e s' schen Fortsatz Schmelzsubstanz an, die mit zunehmender Mineralisation härter wird. Mit fortschreitender Verkalkung des Ameloblasten geht eine Verkleinerung der Schmelzpulpa kongruent, bis sie schließlich unter der Verschmelzung des inneren mit dem äußeren Schmelzepithel gänzlich verloren geht. (W e t z e l (6), R h e i n w a l d und S t a e h l e (10), M e y e r (16) u.a.).

Nach der Beschreibung von M e y e r (16) werden keine neuen Ameloblasten zur Bildung von Schmelzprismen zwischengeschaltet. Der Prismenverlauf wird von den

Ameloblasten vorgezeichnet; auch kann man in ihrer Anordnung die Parazonien und Diazonien des Schmelzes erkennen.

Die Härtung des Schmelzes geschieht durch Einlagerung von Mineralsalzen in die Schmelzsubstanz. Die Ameloblasten sind prismatische Zellen, so daß auch die Mineralisation dieser Zellen unter Wahrung der Prismenform vonstatten geht. Woher die Schmelzzellen die Fähigkeit zur Einlagerung von Mineralsalzen besitzen, ist noch ungeklärt. Die Annahme geht dahin, daß sie mit einer besonderen rezeptiven Fähigkeit zur Kalkeinlagerung begabt sind. Die Mineralsalze werden von besonders dafür befähigten Zellen in Knochen und Zahnhartsubstanzen aufgenommen und in ihnen abgelagert. Sie werden mit der Gewebsflüssigkeit auf alle Gewebe gleichmäßig verteilt. (W e t z e l (6), R h e i n w a l d und S t a e h l e (10), M e y e r (16) u.a.). Die kalkrezeptive Fähigkeit der Ameloblasten wird durch die Bildung von Zahnhartsubstanzen in Teratomen bewiesen. (R h e i n w a l d und S t a e h l e (10)).

Nach der Ansicht von P o l o n o v s k i und C a r t i e r (17) verfügt das organische Grundmaterial über besondere Enzyme, wodurch die Mineralisation zustande kommt. Die Zufuhr dieser Enzyme zu dem Grundgewebe geschieht durch das Blut.

E g g e r s - L u r a (18) ist ebenfalls der Meinung,

daß es sich bei dem Prozeß der Mineralisierung der Knochen, des Zahnzementes, des Dentins und des Schmelzes um eine Ausfällung der Kalksalze aus den Gewebsflüssigkeiten und deren Bindung an bestimmte Gebiete handelt. Bei der Mineralisierung der Schmelzmatrize sind es die sogenannten T o m s' schen Fortsätze, die nach seiner Ansicht als Durchgangsstadium von der lebenden Zelle bis zum reifen Schmelzprisma angesehen werden können. Er vergleicht sie mit Prädentin und dem ersten Verkalkungsgebiet der Knochen.

Beim Durchbruch des Zahnes ist die Mineralisation der Schmelzzellen abgeschlossen.

4) Das biologische Verhalten des Schmelzes.

Von vielen Forschern sind Versuche angestrengt worden, um einen Stoffwechsel und damit eine Vitalität des Schmelzes nachzuweisen.

W a n n e n m a c h e r (19) schreibt, daß das ausgesprochene Fehlen zelliger Elemente in dem dichten, mineralischen Schmelzgefüge und die geringen Mengen an organischen Bestandteilen die Möglichkeit einer Vitalität des Schmelzes ausschließen, obwohl es widersinnig erscheint, daß ein im lebenden Organismus entstandener und mit ihm verbundener Teil von biologischen Funktionen ausgeschlossen sein soll.

Äußerst widerspruchsvolle Deutungen über die Ergebnisse von teilweise intravitalen Schmelzfärbungen und

Diffusionsversuchen an extrahierten Zähnen wurden beschrieben.

Obwohl keine exakten Beweise vorliegen, glauben u.a. S t u d n i c k a und B a z a n t (1) an die Vitalität des Schmelzes.

Auch F o r s h u f v u d (20) behauptet, daß der Schmelz kein lebloses Gebilde ist, sondern ein lebendes Gewebe, das erhalten und erneuert wird.

F i s c h e r (21) sieht ebenfalls im Schmelz ein lebendes Gewebe. Er fand bei der histologischen Untersuchung von nur teilweise entkalktem Schmelz, daß Prismenscheiden, Querstreifen, Schmelzbüchel, Schmelzlamellen und Schmelzoberhäutchen als zusammenhängendes System bezeichnet werden können. Dieses System nennt er Schmelzstroma, das über das Dentin mit der Pulpa in Verbindung steht und daher eine Ernährungs- und Stoffwechselfunktion besitzt. Dieses Stroma besteht zum größten Teil aus Retikulinfasern und nimmt seinen Ursprung in einer Grenzmembran an der Schmelz-Dentin-Grenze. Die Membran wird von Retikulinfasern gebildet. Durch Retikulinfasern des Dentins wird diese Grenzmembran des Schmelzstromas mit der Grenzmembran der inneren Oberfläche des Dentins verbunden, die ebenfalls aus Retikulinfasern besteht und aus der nächstliegenden Pulpa-kapillare hervorgeht. Hiermit ist wahrscheinlich eine anatomische Verbindung zwischen Schmelz und Gefäßen der

Pulpa hergestellt.

Nach langen Untersuchungen im Schmelz über Diffusionsvorgänge mit Lösungen verschiedener Metallsalze (Silbernitrat, Bleinitrat, Quecksilberchlorid usw.) wurde von W a n n e n m a c h e r (19) festgestellt:

- "1) Der Schmelz ist für kristalloide Lösungen diffundibel.
- 2) Die Eindringtiefe an ein und demselben Zahn wechselt, im allgemeinen nimmt sie nach dem Zahnhals hin zu.
- 3) Die Imprägnierungsintensität ist bei gleichen Versuchsbedingungen an verschiedenen Zähnen wechselnd.
- 4) Die interprismatische Substanz wird zuerst imprägniert.
- 5) In der Regel macht auch bei sehr langer Versuchsdauer die Imprägnierung an der Schmelzdentingrenze halt.
- 6) Vom Dentin her zeigt sich meist kein weitgreifendes Eindringen der Imprägnierungsstoffe in den Schmelz. Wenn ein solcher Übergang zu beobachten ist, dann ist er zunächst hauptsächlich an in den Schmelz einstrahlende Dentinausläufer gebunden.
- 7) Die Imprägnierungs- und Färbungsversuche im intakten Schmelz verlaufen außerordentlich langsam. Erst nach 24 Stunden ist eine eindeutige Schmelzimprägnierung zu konstatieren."

Versuchsergebnisse W a n n e n m a c h e r' s (19)

bestätigen und erweitern die Resultate von P i c k e - r i l l (22). Die Durchlässigkeit des Zahnschmelzes erlaubt aber nicht, Rückschlüsse auf bestimmte Stoffwechselvorgänge zu ziehen, denn es handelt sich dabei nicht um eine Bestätigung von assimilatorischen oder dissimilatorischen Vorgängen.

T ü r k h e i m (6) schreibt, daß ein Stoffwechsel mit An- und Abbau und chemischen Umsetzungen sich nur im lebenden Organismus vollzieht, während ein exakter naturwissenschaftlicher Beweis für ein Leben im Schmelz aussteht.

Weiterhin konnte als Fortschritt angesehen werden, daß zur Klärung der Frage über Stoffwechselvorgänge im Schmelz menschlicher Zähne, Versuche unter der Anwendung radioaktiven Phosphors gemacht wurden.

V o l k e r und S o g e n n a e s (23) fanden bei Versuchen an Katzenzähnen, der sie P^{32} per os gaben, nach 9 Tagen 44 % der eingegebenen Dosis im ganzen Gebiß, davon 91 % im Dentin und 2,3 % im Schmelz. Nach ihrer Ansicht nimmt die Schmelzoberfläche den Phosphor aus dem Speichel auf.

P e d e r s e n und S c h m i d t - N i e l s e n (24) führten Versuche am Menschen durch. Sie stellten fest, daß Phosphat-Ionen vom Speichel her in die Schmelzoberfläche übergegangen sind. Ein Übergang aus dem Dentin von P^{32} in den mittleren und äußeren Schmelz fanden

entweder gar nicht oder nur in ganz unbedeutendem Ausmaß statt. Phosphatstoffwechsel kann über Pulpa, Periodontium und Speichel stattfinden. Das Schmelzoberflächenphosphat wird 3 mal so schnell ausgetauscht, wie Phosphor in der Nähe des Dentins. In zunehmendem Alter nimmt der Phosphorstoffwechsel der Zahngewebe ab.

W a n n e n m a c h e r (19) in Zusammenarbeit mit E r b a c h e r führte Versuche an Ratten mit P^{32} durch.

Nach einer subkutanen Injektion von P^{32} , ist nach wenigen Stunden in sämtlichen Hartgeweben des Rattennagezahnes, der Pulpa und im Knochen P^{32} nachzuweisen. In der proximalen Hälfte des Rattennagezahnes ist im wachsenden und reifenden Schmelz P^{32} reichlich vorhanden. In der distalen Hälfte des Rattennagezahnes ist im fertigen, ausgereiften, in Funktion stehenden Schmelz P^{32} in geringem Maß oder gar nicht festzustellen.

Bei späteren Untersuchungen an Rattennagezähnen und Molaren zeigten sich im Molarenschmelz im Vergleich zu den Nagezähnen die niedrigeren Werte. Nach Versuchen an menschlichen, intakten, oberen Prämolaren und ersten Molaren von 10 bis 14jährigen Probanden konnte W a n n e n m a c h e r (19) folgern: Die höchsten P^{32} -Werte im Schmelz liegen durchschnittlich im marginalen Schmelzdrittel, die niedrigsten in Kauflächenabschnitten. Seine Erklärung dafür ist, daß die marginalen Schmelzzonen durch Strukturunregelmäßigkeiten eine erhöhte Durchlässigkeit

aufweisen. Die Ergebnisse von W a n n e n m a c h e r zeigen die Einlagerung von Phosphor im Schmelz vom Speichel und von der Gingiva her und nur eine relativ geringe Diffusion von Seiten des Dentins, wobei die peripheren Schmelzschichten mehr P^{32} aufnahmen, als die zentralen. Der Stoffaustausch in der Schmelzperipherie ist 3 mal größer als derjenige in der Dentinnähe.

W a n n e n m a c h e r (19) konstatiert aus seinen Versuchsergebnissen, daß es nicht zulässig ist, von einem Schmelzstoffwechsel zu sprechen, obwohl ein Ionenaustausch zwischen Speichel und peripherem Schmelz stattfindet, dabei kann der Sättigungsgrad des Speichels an Mineralsalzen, die Viscosität und Speichelmenge in Bezug auf den Schmelz eine Rolle spielen.

E g g e r s - L u r a (18) sieht verschiedene künstliche Remineralisierungsversuche und die Beobachtung einer natürlichen Remineralisierung des Schmelzes als Beweis für einen gewissen Stoffwechsel der harten Zahngewebe an, während er die Durchdringung des Schmelzes von z. B. künstlichen Farbstoffen nur für eine gewöhnliche Diffusionserscheinung und nicht für den Beweis eines Stoffwechsels gelten läßt. Es ist möglich, daß die Sensibilität der harten Zahngewebe auf demselben Vorgang beruht, wie die Übertragung der Impulse motorischer Nerven auf den Muskeln, das heißt, auf das Vorhandensein des Enzyms Cholinesterase in den T o m s' schen Fasern.

5) Die Remineralisation.

Die Schmelzoberfläche verändert sich im Laufe des Lebens; sie ist in der Lage, sich äußeren Einwirkungen und physiologischen Bedürfnissen anzupassen. Es handelt sich hierbei um Vorgänge, die zu einem gewissen Grad den Zahn in einem Zustand halten, der ihn vor äußeren Einwirkungen und Störungen schützt. Der Zahn ist während seiner Funktion Abnutzungserscheinungen und kleinen Beschädigungen wie z. B. Kratzern und Rillen ausgesetzt. Bei dem Durchbruch des Zahnes schützt das Schmelzhäutchen den Zahn, das aber im Laufe des Lebens durch verschiedenste Insulte verlorengeht. Manche Autoren sind der Ansicht, daß das Schmelzhäutchen an nicht beanspruchten Zahnflächen bis ins hohe Alter durch eine sich niederschlagende Kalkschuttschicht erhalten bleibt (W o l f und N e u w i r t h (25)).

Da nun der Schmelz anscheinend die Fähigkeit besitzt, sich gegen Schädlichkeiten zu schützen, wurde die Frage nach der Herkunft des Materials aufgeworfen, das für den Remineralisationsprozeß erforderlich ist. Da eine Reparation über die Blutbahn und durch eigene Initiative der Schmelzzellen die Vitalität des Schmelzes mit allen Lebensfunktionen voraussetzt, ist dieser Weg wohl sehr unwahrscheinlich. Der exogene Weg einer Remineralisation über den Speichel scheint der Gegebenheit angepaßt und ver-

ständiglich zu sein. Ein Beweis dafür ist die Kompensation von Defekten an vitalen sowie devitalen Zähnen. (R h e i n - w a l d und S t a e h l e (10)).

Als erster wies H e a d (26) auf die Zusammenhänge zwischen Schmelz und Speichel hin. Er berief sich auf die Tatsache, daß bei Zähnen, die unter der Einwirkung von Säuren an der Oberfläche rauh werden, die Rauigkeiten nach einigen Tagen wieder verschwunden sind.

A n d r e s e n (27) erklärt das Eindringen von Säuren in den Schmelz über das Schmelzoberhäutchen, das mit der organischen Schmelzsubstanz in Verbindung steht. Durch diese Vermittlung dringt Säure in den Schmelz hinein und gelöste Schmelzminerale diffundieren hinaus, es entstehen keine Hohlräume sondern das Calco-Globulin quillt. Umgekehrt nimmt A n d r e s e n an, daß diese Diffusion und Quellung einen reversiblen Prozeß darstellen und damit die Möglichkeit des Remineralisationsprozesses innerhalb gewisser Grenzen verständlich ist. Er hat von diesem Vorgang folgende Vorstellung:

"Man kann sich leicht denken, daß das unendlich feinteilige organische Gewebe des Schmelzes imstande ist, unorganische Schmelzminerale zu adsorbieren und organisieren, wenn sie in einem so feingeteilten Zustande als einer Lösung dargeboten werden, in der die betreffenden Stoffe als dissoziierte Elektrolyte vorhanden sind, also als elektrisch geladene Ionen."

E h r e n s b e r g e r (28) schreibt, daß es möglich ist, teilweise entkalkten Schmelz zu remineralisieren. Man legt ihn in eine Flüssigkeit, welche die zur Verkalkung nötigen Salze in gesättigter Lösung enthält, indem die Kalksalze in Lösung osmotisch durch das Schmelzoberhäutchen in den Schmelz diffundieren. Sie glaubt eine Remineralisation nur da möglich, wo die organische Substanz des Schmelzes vollständig erhalten geblieben ist, denn nur die unveränderte organische Substanz kann sich wieder mit Kalksalzen sättigen.

K e i l (29) nahm Untersuchungen an unter dem Mikroskop entkalkten Schliffen vor und untersuchte auf diese Weise die kreidigen Verfärbungen und beginnende Karies. Nach K e i l s Feststellung zeigte sich bei der kariösen und künstlichen Entkalkung eine Erhaltung organischer Bestandteile, die seiner Meinung nach für die karieshemmende Imprägnation von Wichtigkeit sind.

A p p l e b a u m und Mitarbeiter (30) sind der Ansicht, daß eine post eruptive Verkalkung und Remineralisation mit Unterstützung des Speichels und dem Zahninnern vonstatten geht. Sie untersuchten Oberflächendefekte mit Röntgenstrahlen und ultraviolettem Licht und glauben an eine Remineralisation von dem Speichel her.

N i s h i m u r a (31) behauptet, daß der Kalk des Remineralisationsprozesses von aufgelösten Kalksalzen des Zahnes stamme und nicht aus dem Speichel.

W o l f und N e u w i r t h (25) überprüften vorher verletzten Schmelz und fanden nach 10 Tagen eine Deckung des Defektes mit Kalk. Die bedeckende Kalkschicht adhärierte fest. Die Konsistenz war weicher als die des Schmelzes. Sie trennten homogenen von globulärem Kalkbelag. Diese beiden Arten unterschieden sich nicht nur morphologisch, sondern auch in ihrem Sitz, indem globulärer Belag sich vorwiegend auf geschützte Stellen niederließ, überzieht der homogene Kalk vorwiegend freiliegende Flächen. Man kann auch Übergänge beider Formen finden. Durch die Auflagerung einer Kalkschicht soll der Schmelz gegen weitere schädigende Insulte geschützt werden. Die Autoren entnehmen ihrem Versuchsergebnis, daß der reparative Kalk nur aus dem Speichel kommt, nicht aber aus der Pulpa oder dem Periodontium. Weiterhin schreiben sie:

"Die Ursache zum Ausfällen des Kalkes kann entweder eine Affinität von Kalksalzen zu der beschädigten Schmelzoberfläche sein, im Sinne eines physikalisch-chemischen Prozesses, oder aber es handelt sich um die Wirkung innerer Faktoren, die von Pulpa oder Periodontium her im Sinne eines Kalzifikationsfaktors eingreifen, die die Kalksalze des Speichels an der Schmelzoberfläche zur Ablagerung zwingen."

Sobald eine genügende Kalkschuttschicht über dem Defekt entstanden ist, hört die weitere Remineralisation

auf. Die reparativen Fähigkeiten bei den einzelnen Individuen sind sehr verschieden. (W o l f und N e u w i r t h (25)).

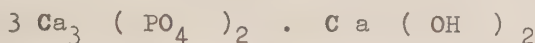
Der Speichel ist also in der Lage, den Zahn zu schützen, indem er für eine ständig sich ergänzende Kalkschicht sorgt und fortwährend eintreffende kleine Insulte mechanischer und chemischer Art remineralisierender kann.

R h e i n w a l d und S t a e h l e (10) machten Beobachtungen an kariesresistenten und kariesanfälligen Individuen. Durch Ablagerung teils homogenen und teils globulären Belages kann ein Schmelzdefekt kompensiert werden. Sie sprechen sogar von einer echten Heilung. Die Heilungstendenz ist sofort nach der Entstehung des Defektes am größten. Unter ungünstigen physiologischen Bedingungen können die Kalkeinlagerungen zunächst auftreten und dann wieder verschwinden. Dagegen kann sogar unter pathologischen Bedingungen, d. h., bei Kariesanfälligen, die Kompensation eines Schmelzdefektes nicht nur ausbleiben, sondern er kann sich noch vergrößern. Auch von R h e i n w a l d und S t a e h l e (10) wird nur der Speichel als Kalksalzquelle angegeben und die endogene Remineralisation des Schmelzes vollkommen abgelehnt.

Es wurde aber auch festgestellt, daß der Remineralisationsprozeß reversibel ist, sobald die den Zahn umgebende

Flüssigkeit entkalkende Eigenschaften annimmt. Eventuell kann eine Ernährungsumstellung auf eine Diät von guter Wirkung auf den Speichel sein. (E h r e n s b e r - g e r 28).

Nach K n a p p w o s t und K u p p e (32) handelt es sich bei dem Remineralisationsprozeß um eine Ausfällung von Hydroxylapatit mit der Formel:



Der Speichel ist nach Meinung des Autors und Mitarbeiter in Bezug auf Phosphor- und Calcium-Ionen eine mehrhundertfach übersättigte Lösung von Hydroxylapatit. Bei Verletzung der Schmelzoberfläche durch Säuren (Frucht-, Essig-, Milchsäure) oder mechanische Abnutzung wird durch Ausfällung von Hydroxylapatit wieder eine Deckung des Defektes erzielt.

Das Löslichkeitsprodukt des Apatits stellt sich wie folgt dar:

$$[\text{Ca}]^{10} \cdot [\text{PO}_4]^6 \cdot [\text{OH}]^2 = L$$

Eckige Klammern bedeuten die Konzentration in Molen pro Liter. Veränderungen der OH⁻, PO₄⁻ und Ca⁻ Ionenkonzentration können den Niederschlag des Hydroxylapatits beeinflussen.

E r i c s s o n (32) schreibt, daß der Schmelz in der Lage ist, von außen zugeführte Salze aufzunehmen, wodurch das notwendige Vorhandensein des Speichels bei der Remineralisation gekennzeichnet ist. Durch Säuren

stumpf und rauh erscheinende Zähne, werden wahrscheinlich durch Ausfällung gelöster Kalksalze aus dem Speichel remineralisiert. In Bezug auf die Remineralisation und Demineralisation des Schmelzes bezeichnet er den pH-Bereich von 5,5 bis 6,5 als kritischen Punkt. Oberhalb dieser Werte ist der Speichel in seinem Verhältnis zum Schmelz mit Calcium und Phosphor gesättigt oder übersättigt. Unterhalb dieses pH-Bereiches ist er als ungesättigt anzusehen. Kommt es zu einer pH-Wert-Verschiebung von 6,5 weiter zur alkalischen Seite, so wird das Calciumphosphat gefällt und vom Schmelz zur Remineralisation verwandt. Verschiebt sich der pH-Wert nach der sauren Seite, dann ist der Speichel ungesättigt und entnimmt dem Schmelz Calcium und Phosphor, so daß es zu einer Demineralisation kommt.

Nach R o z e i k (34) ist der Schmelz wahrscheinlich nur bis zum dritten Dezenium permeabel. Er schreibt, daß es sich bei der Remineralisation nicht um einen Verkalkungsprozeß handelt, der bestehende Mängel des Schmelzes ausgleicht und der keinesfalls mit der Verkalkung während der Zahnbildung gleichzusetzen ist.

Aus der Beobachtung des Nachhärtens eines eben eruptierten Zahnes und der Remineralisation eines Schmelzdefektes zog A n d r e s e n (35) den Schluß, man könne durch medikamentöse Behandlung den Vorgang ersetzen und nachahmen, wo der Speichel seine mineralisie-

rende Fähigkeit eingebüßt hat, durch die Anwendung eines Remineralisationpulvers zur Behandlung der Karies incipiens.

6) Die Schmelzreifung.

Nach vollendeter, morphologischer Schmelzentwicklung und nach Erlöschen der Ameloblastentätigkeit, die während der Entwicklung die Stoffzufuhr fördert, kann der Schmelz noch nicht als "ausreichend" verkalkt angesehen werden.

Erst der gereifte Schmelz kann als vollwertig und resistent bezeichnet werden, was vor allem für die Pathologie der Zahnkaries wichtig ist. (L e i m g r u - b e r 36).

Auch wenn es sich hier nicht um Strukturveränderungen handelt, sondern eher um physikalisch-chemische Vorgänge, wurde von vielen Autoren nachgewiesen, daß der Schmelz "reift". (W o l f und N e u w i r t h 25).

S t u d n i c k a und Mitarbeiter (1) machten Angaben über den Gehalt des Schmelzes an anorganischer Substanz bei verschiedenen Altersstufen. Demnach beträgt der anorganische Anteil beim durchbrechenden Zahn ungefähr 78 %, nach Abschluß des Wachstums des Organismus 95 % und im Senium 97 bis 99 %.

Bei der Untersuchung des Zahnschmelzes von Probanden verschiedenen Alters in oberflächennahen und dentin-nahen Schichten, fanden K o h â r i und B ó n a (8),

daß die Schmelzreife an der Oberfläche früher stattfindet, als in der Nähe des Dentins, denn die Prismenformen in der Nähe des Dentins sind immer regelmäßiger und schärfer umrissen, als auf der Oberfläche. Weiterhin beschreiben sie, daß die an anorganischem Material reicheren Prismengrenzen von jungen Schmelzprismen histologisch regelmäßige Hexagonalformen zeigen. Diese Prismenform ist im Alter in Dentinnähe noch gut zu erkennen, während an der Peripherie die Prismengrenzen im Alter infolge der Kalkansammlung fast nicht mehr zu erkennen sind.

K e i l (37) beschreibt eine unterschiedliche Beobachtung mit polarisiertem Licht. Danach ist der sich in der Entwicklung befindliche Schmelz positiv einachsig, während der entwickelte Schmelz negativ einachsig ist.

Es wurden viele Hypothesen aufgestellt, worauf die Schmelzreifung beruht, doch manche sind ohne einwandfreie Bestätigung oder die Ansichten des einen oder anderen stehen im Gegensatz zueinander.

So glauben manche, daß der Schmelz vor seinem Durchbruch nicht genügend mineralisiert ist und er daher nach seinem Durchbruch Kalksalze aufnehmen muß.

Nach der Ansicht P i c k e r i l l ' s (22) handelt es sich bei dem Härtungsprozeß um einen Vorgang, der mit dem Speichel in Zusammenhang steht. Das vom Speichel umspülte Schmelzoberhäutchen spielt die Rolle einer Membran,

die durchlässig ist für Kristalloide und nicht für Kolloide, das bedeutet, für die im Speichel vorhandenen Kalksalze und nicht für die organischen Substanzen. Der sich sehr langsam abspielende Prozeß ist von dem osmotischen Druck abhängig. Die Kalziumsalze werden durch im Speichel befindliche Kohlensäure in Lösung gehalten. Im gelösten Zustand durchdringen sie das Schmelzoberhäutchen. Vor allem spielt die Zusammensetzung des Speichels eine ausschlaggebende Rolle.

Nach Kohari und Bóna (8) spiegeln die Schmelzprismen die Hexagonalformen der Ameloblasten mit peripherisch orientiertem Kristallgefüge wieder. Im ganz jungen Zahnschmelz sieht man Verkalkungsunterschiede innerhalb der Prismen, die elektronenmikroskopisch wiedergegeben werden. Es sondert sich ein scharfer Prismenrand von dem schütter ausgefüllten Prismeninnern ab. Allerdings kann dieser Verkalkungsunterschied auch bei reifen Zähnen von 40 bis 45 Jahren in der Dentinnähe gefunden werden. An alten Zähnen sind die restlichen interprismatischen Grenzen und die Binnensubstanz vollständig verkalkt. Bei der Erreichung der nötigen Konzentration erfolgt die Verkalkung, indem sich die kondensierenden Kalkkristalle raumgitterartig in den retikulär übriggebliebenen Proteingrundstoff einlagern.

Die Konzentrationserhöhung kann einmal durch Hinzukommen von Kalk zustande kommen, andererseits durch

Feuchtigkeitverlust des Proteingerüsts im Alter.

(K o h à r i und B ó n a 8).

Andere dagegen vertreten die Ansicht, daß bei der Reifung des Schmelzes weder der anorganische Schmelzanteil noch das organische Gerüst grundlegend geändert wird.

So ist L e i m g r u b e r (36) der Auffassung, daß der Apatit schon vor dem Erscheinen des Schmelzes in der Mundhöhle fertiggebildet sein muß. Die Reifung ist an das funktionelle System Zahn-Speichel geknüpft. Er glaubt, daß eine effektive Härtezunahme des Schmelzes bei der Reifung nicht zustande kommt, sondern, daß eine Zunahme der Kohäsion beider Schmelzkomponenten (organische und anorganische Substanz) und des ganzen Schmelzprismenverbandes stattfindet. Er definiert die posteruptive Schmelzreife folgendermaßen: "Die posteruptive Schmelzreife besteht darin, daß mittels eines Speicherelementes die beiden Glieder des Organo-Apatit zu einer submikroskopischen, morphologischen und funktionierenden Einheit verbunden werden, dem Organo-Apatit des intakten im System Zahn-Speichel funktionierenden Schmelzprismas". L e i m g r u b e r unterscheidet bei der posteruptiven Schmelzreife zwischen einer immediaten aber provisorischen Phase, die die physikalischen Eigenschaften des Schmelzes so weitgehend entstehen läßt, daß der Schmelz zur mechanischen Beanspruchung herangezogen werden kann, ohne ihn

jedoch im chemischen Sinne genügend resistent zu machen, und einer späteren Reifungsphase, durch die der Schmelz resistent wird. Als Speichелеlement, das vom Schmelz für die Reifung herangezogen wird, kommen die im dissoziierten Zustand anwesenden Ionen in Frage, wobei es sich um $K^+ SCN^-$ (Rhodankalium) handelt. Das Schwefelatom alleine soll wichtig sein, d. h., der Ausgangspunkt ist ein inaktiver Schwefel, der über 4 Stufen des anorganischen Grundstoffes, der Sulfhydrylgruppe, der Sulfhydrylverbindung und der Schwefelverbindung in das Prismagefüge eingelagert wird. Wichtig ist für den Schmelz alleine, daß durch ionale Steuerung im System Zahn-Speichel die Kohäsion, die vor dem Zahndurchbruch locker war, vergrößert und in einen wegen der mechanischen Beanspruchung des Schmelzes besseren Kohäsionszustand versetzt wird.

L e i m g r u b e r (36) berechnete die Reifungszeit des Schmelzes beim kariesresistenten Individuum mit 2 Jahren, bei nicht resistenten mit 10 bis 15 Jahren.

Weiterhin spalten sich die Forschergruppen in der Ansicht über den Zufuhrweg der Stoffe, die für die Schmelzreifung in Frage kommen.

Aus der Tatsache, daß eine physiologische Mineralisation vor dem Zahndurchbruch nur über die Gewebsflüssigkeit erfolgen kann, schließen manche Autoren (u. a. S c h m i t z 38), daß die post eruptive Härtung des Schmelzes ebenfalls

über eine Stoffzufuhr von der Pulpa über das Dentin stattfinden könne.

Die Untersuchungen über einen Ionenaustausch vom Speichel her, von W a n n e n m a c h e r (19), wie oben beschrieben wurde im Kapitel biologisches Verhalten des Schmelzes, Seite 10, H e a d (26), A n d r e s e n (27), W o l f und N e u w i r t h (25) und R h e i n w a l d und S t a e h l e (10), siehe oben im Kapitel Remineralisation, Seite 16, lassen einen exogenen Weg zu.

W e b e r (39) ist der Meinung, daß für einen normal verkalkten Zahn eine nachträgliche Härtung des Schmelzes durch den Speichel gar nicht notwendig ist.

Der reife Schmelz versucht durch seine größere Härte der Karies und anderen exogenen Insulten einen größeren Widerstand zu bieten.

III. E I G E N E E X P E R I M E N T E L L E U N T E R S U C H U N G E N .

1) Erklärung des Versuchsmaterials.

Untersucht wurden im ganzen 325 Zähne von Patienten im Alter von 6 - 60 Jahren. Dabei handelt es sich um Zähne, die entweder unbeschädigt, abradiert oder kariös, jedoch nicht devital waren. Alle untersuchungsfähigen Zähne wurden sofort nach der Extraktion in Formalin aufbewahrt, um ein Austrocknen oder Verwesen zu verhindern. Leider war es nicht möglich, von jeder Altersgruppe und jeder Zahnkategorie die gleiche Anzahl an Zähnen zu untersuchen, da verständlicherweise mehr ältere als jüngere Zähne extrahiert werden. Demzufolge ist die Zahl der Zähne zwischen 41 - 60 Jahren von jeder Zahnkategorie überwiegend. Weniger Messungen konnten an Zähnen der Altersgruppen von 22 - 30 Jahren und 31 - 40 Jahren durchgeführt werden. Hauptsächlich waren es bei diesen Gruppen kariöse Zähne, aus prothetischen Gesichtspunkten oder aus Gründen der Parodontitis extrahierte Zähne und Weisheitszähne. Die bleibenden jugendlichen Zähne zwischen 6 - 21 Jahren wurden meist aus kieferorthopädischen Erwägungen heraus oder wegen Kariesbefall entfernt.

2) Herstellung der Schliffpräparate.

Bevor die Schmelzhärtemessung im Kleinhärteprüfer "Dürimet" der Firma L e i t z, W e t z l a r (40) durchgeführt werden konnte, mußten die Zähne einer mehr-

stündigen Vorbereitung unterworfen werden, um ein gut sichtbares Bild und einen ausreichend messbaren Eindruck zu erhalten. Nach der Reinigung der Zahnwurzeln von Parodontium- und Schleimhautrückständen wurden die Zähne in Paladur von der Firma K u l z e r, einem bei Zimmertemperatur polymerisierenden Kunststoff, der in flüssiger Konsistenz in eine rechteckige Form gegeben wurde, eingebettet. Dadurch erreichte man einen guten, gleichmäßigen Halt für das Untersuchungsobjekt im "Durimet" und eine bessere Voraussetzung für eine exakte Politur. Der Zahn wurde so in den Kunststoff gelegt, daß eine buccale und eine palatinale bzw. linguale Schmelzschicht zur Messung herangezogen werden konnte. Der Zahn erhält im Längsschnitt folgendes Bild:

Abb. 1

Abb. 1a



Der eingebettete Zahn mußte nun auf einer rotierenden Stahlscheibe mit Silicium carbid $\text{Si}_1\text{O}_2 + 3\text{C} = \text{SiC} + 2\text{CO}$ der Elektroschweißwerke München mit einer Korngröße von 320 ca. 40 μ und Wasser plan geschliffen werden. Wurde die Pulpa vollkommen freigelegt, so mußte sie entfernt und das Cavum mit Paladur ausgefüllt werden, damit nicht untersichgehende Dentinteile abbrechen konnten oder Retentionen für grobe Karborundkörner gebildet wurden, die zur Erschwerung der Politur geführt hätten. Auf Glasscheiben wurde durch manuelles Hin- und Herreiben der eingebetteten Zähne eine Politur mit Hilfe von Silicium carbid und Wasser hergestellt, das zur Verfeinerung der Politur ein immer kleineres Korn haben mußte. Die Politur begann auf der ersten Glasplatte mit einer Korngröße von 500 ca. 20 μ , auf der zweiten mit einem Korn von 800, 6 - 4 μ , auf einer weiteren Platte wurde mit einer Korngröße von 1000, 2 μ gearbeitet, und es endete bei einem Korn von 1200, 1 μ . Danach wurde der Schliff unter einer Lupe betrachtet, um ihn auf saubere, schrammenlose Politur hin zu überprüfen. Um den notwendigen Hochglanz zu erhalten, wurde der Zahnschliff auf einer Filzscheibe mit Tonerde Nr. 2 (Al_2O_3) von 0,5 μ , der D u j a r d i n W e r k e (Düsseldorf), verdünnt mit aqua destillata, manuell rotiert. Nach dieser Vorarbeit konnte die Schmelzhärte des Zahnes im Kleinhärteprüfer gemessen werden.

3) Härtemessverfahren.

Da der "Durimet", der schon seit einigen Jahren in der Industrie zur Härteprüfung von Metalloberflächen benutzt wurde, die Möglichkeit gibt, in einem Abstand von wenigen μ verschiedene Punkte zu erfassen, ist er sehr geeignet zur Messung von Zahnhartsubstanzen und zur Ermittlung der Härtewerte.

Durch eine regelmäßige vierseitige Diamantpyramide, die als Druckspitze dient und mit verschiedenen Gewichten belastet werden kann, wird auf dem zu prüfenden Gegenstand ein Eindruck erzeugt. Das Härtemaß entsteht durch das Verhältnis der Belastung zur Oberfläche des bleibenden Eindrucks. Die entstandenen Eindrucksdiagonalen werden ausgemessen, addiert und die Summe halbiert. Die Härte kann dann nach V i c k e r s nach folgender Formel ausgerechnet werden:

$$H V = \frac{1854 \cdot P}{d^2}$$

H V = Vickershärte in kg/mm^2
P = Prüfkraft in Gramm
d = Länge der Eindrucksdiagonalen,
gemessen in μ .

Außer der V i c k e r s- Härteprüfung mit dem "Durimet" stehen noch andere Verfahren zur Verfügung.

Die M o h s' sche Härteprüfung ist eine der ältesten. Die häufigste Anwendung finden die Härteprüfverfahren nach B r i n e l l und R o c k w e l l, indem bei dem ersten genormte Stahlkugeln stoßfrei in das Meßobjekt

eindrücken. Die Größe des erzeugten Eindrucks ist abhängig von der Prüflast und dem Kugeldurchmesser.

Für die Messung größerer Härte ist das R o c k w e l l - Verfahren gut geeignet, wobei eine Diamantspitze in das zu prüfende Material eingedrückt wird.

Zur speziellen Knochenprüfung entwickelte der Berliner Pathologe R ö s s l e eine Kugeldruckmethode.

In unserem Falle schien aber die Härteprüfung mit dem "Durimet" am geeignetsten.

4) Der Aufbau des "Durimet".

Die Hauptbestandteile des "Durimet" sind Mikroskop und Härteprüfer, die durch ein Steilgewinde an einer Säule beweglich befestigt sind. Diese Säule und ein Meßtisch, der mit Hilfe zweier Mikrometerschrauben mit einem Meßbereich von je 25 mm in zwei Richtungen bewegt werden kann, sind an einem Stativ angebracht. Durch einen Grob- und Feintrieb kann eine Höhenverstellung des Mikroskopes bis zu 150 mm vorgenommen werden. An dem Mikroskop ist ein Feinmeßokular, ein Suchobjektiv (zehnfache Vergrößerung), das einen Sehfelddurchmesser von 1,8 mm gewährt und ein Meßobjektiv (vierzigfache Vergrößerung) mit einem Sehfelddurchmesser von 0,45 mm. Das Okular ist um 45° nach vorne geneigt, um eine bessere Arbeitsmöglichkeit zu gewährleisten und ist nach dem Lösen einer Klemmschraube um 90° zu drehen. Durch eine weitere Einstellschraube kann das Feinmeßokular geteilt werden.

Das Suchobjektiv, das Meßobjektiv und der Härteprüfer sind an einer schwenkbaren Scheibe befestigt, so daß man leicht z. B. vom Diamanten auf das Übersichtsobjektiv oder das Einstellobjektiv umwechseln kann. Als Lichtquelle ist eine abnehmbare Glühlampe von 8 Volt und 0,6 Ampère angebracht.

Der Härteprüfer setzt sich zusammen aus einem vierseitigen pyramidenförmigen Diamanten, der die Eindrücke erzeugt, einem Lasthebel mit einem Auflageteller für ein Gewicht, einer Ölbremse, die ein gleichmäßiges und langsames Eindringen des Diamanten bewirkt und mit einem Drahtauslöser betätigt wird, und ein Rändelknopf mit biegsamer Welle zum Hochheben des Eindringkörpers. Im Augenblick der vollen Belastung wird die Bremsvorrichtung automatisch abgeschaltet. Die Einwirkungszeit des Diamanten auf das Prüfobjekt liegt zwischen 15 und 20 Sekunden.

Der gesetzte Eindruck wird ausgemessen mit dem Feinmeßokular, dessen beide Skalen (Einstellskala und Meßskala) im Sehfeld angeordnet sind. Die Einstellskala besteht aus einem Fadenkreuz mit 9 horizontalen, parallelen Strichen, die in einem Abstand von 25μ voneinander entfernt sind. Man kann auf ihr grob Werte über 25μ ablesen. Die Meßskala ist in Teilstriche bis zu $0,5\mu$ unterteilt, so daß hier die Feinablesung bis $0,1\mu$ erfolgen kann.

Abb. 2 des Kleinhärteprüfers "Durimet"

(Die Erklärung der einzelnen Teile des Durimet befinden sich auf Seite 36 und 37)

Abb. 2

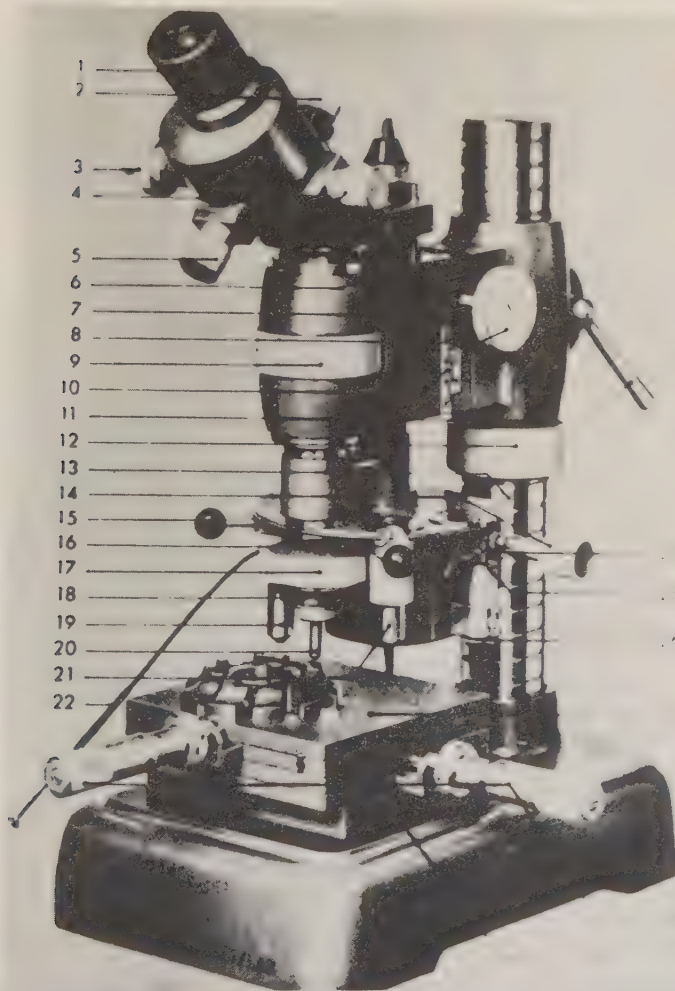
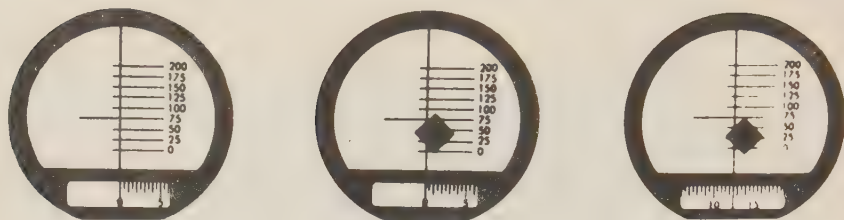


Abb. 3 Einstellskala und Meßskala mit Eindrücken
im Sehfeld angeordnet.

Abb. 3



- 1) Feinmeßokular
- 2) Klemmschraube des Feinmeßokulars
- 3) Einstellschraube für die Teilung des Feinmeßokulars
- 4) Einstellknopf für die Querverschiebung des Okulars
- 5) Einstellknopf zur Längsverstellung des Okulars
- 6) Beleuchtungseinrichtung
- 7) Index für Normalstellung
- 8) Triebknopf für grobe Höhenverstellung des Durimet
- 9) Feineinstellung des Durimet
- 10) Orientierungseinteilung
- 11) Klemmhebel zur Feststellung des Durimet an der Säule
- 12) Rändelmutter zur Höhenverstellung
- 13) Säule
- 14) Anhebeknopf des Diamanten
- 15) Objektiveinschwenkgriff

- 16) Rastfeder
- 17) Prüfgewicht
- 18) Auflageteller für Gewichte
- 19) Meßobjekt
- 20) Prüfdiamant
- 21) Übersichtsobjektiv
- 22) Drahtauslöser
- 23) Auflagefläche für den Meßtisch
- 24) Feinmeßspindeln
- 25) Meßtisch
- 26) Rändelschraube zum Regulieren der Absinkgeschwindigkeit
- 27) Deckel der Ölbremse mit Einfüllen
- 28) Kolbenstange

5) Ausführung der Härteprüfung.

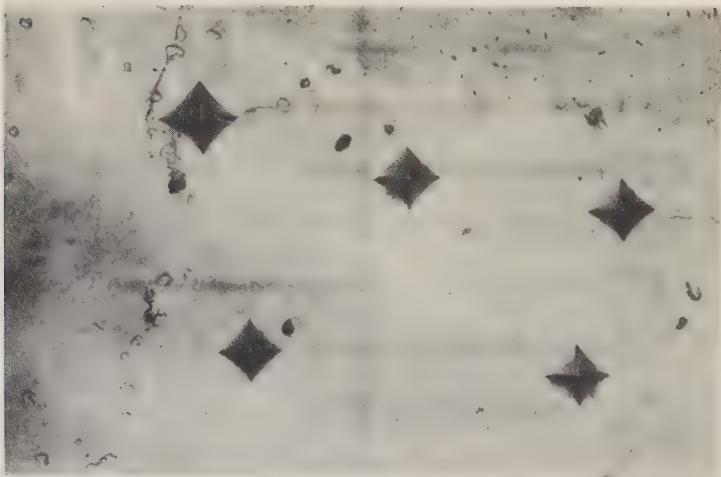
Für alle durchzuführenden Messungen ist es unerlässlich, die horizontale Aufstellung des Kleinhärteprüfgerätes mit Hilfe einer Dosenlibelle zu überprüfen und einzuregulieren.

Da der zu messende Gegenstand gut fixiert und seine Prüffläche senkrecht zur Druckrichtung liegen muß, wird für die Versuche der Objektschraubstock der Firma **L e i t z** in Gebrauch genommen. Dieses Gerät ist um 2 Achsen neigbar und gestattet mit einer Dosenlibelle das Untersuchungsobjekt genau horizontal einzustellen. Nach der klaren Einstellung eines Übersichtsbildes wird der Schmelz im Meßobjektiv auf die zu messende Stelle ein-

gestellt. Dann belastet man den Auflageteller mit dem Prüfungsgewicht von 100 g. In Vorversuchen wurde diese Belastung ausgewählt, da ein niedrigeres Gewicht einen zu unscheinbaren Eindruck ergab und ein zu hohes den Schmelz zum Reißen und damit zu einem unmeßbaren Eindruck führte. Durch die Betätigung des Drahtauslösers senkt sich die Diamantpyramide in die Prüffläche. Während dieses Vorganges darf keine Erschütterung auftreten, da der Eindruck vergrößert und die Messung ungenau wird. Der Diamant muß einen gut sichtbaren Eindruck wiedergeben, d. h., es muß mindestens eine halbe Diagonale gut sichtbar sein.

Abb. 4 Eindrücke im Schmelz, an der Schmelzdehtingrenze

Abb. 4



Beim Ablesen des Meßergebnisses muß die richtige Einstellung der Skalenstriche an den Eindrucksdiagonalen beachtet werden, um zu große Fehlerquellen zu vermeiden. Bei genauer Durchführung des Meßvorganges ergibt sich die Meßgenauigkeit bei kleinen Eindrücken aus dem Auflösungsvermögen der Optik und dem davon abhängigen kleinsten, unvermeidlichen Einstellfehler, der von der Herstellerfirma L e i t z E. mit $\pm 0,2 \mu$ berechnet wurde. Hat ein Eindruck eine Diagonalenlänge von 10μ , so bedeutet das $\pm 2 \%$ Fehler in der Diagonalen. Der Fehler verdoppelt sich noch auf 4% in der Härte, da die Diagonalen bei der Härteberechnung ins Quadrat erhoben werden. Es entsteht bei größeren Eindrücken eine Verringerung des Ablesefehlers, so daß die Fehlergrenze bei Eindrucksdiagonalen oberhalb 25μ bei $\pm 2 - 3 \%$ liegt.

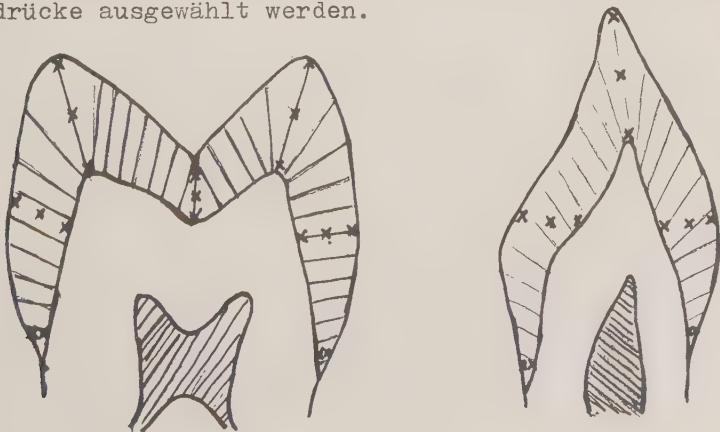
Nach Ablesen des angezeigten Wertes wurde die Ausrechnung der Vickershärte nach der angegebenen Formel nicht durchgeführt, da sie für die hier vorliegende Arbeit nicht von Bedeutung ist. Es genügen die Werte der Eindrucksdiagonalen, um aus den Messungen aller Zähne bestimmte Gruppen zusammenzustellen und Durchschnittswerte zu errechnen. Nach der Aufstellung der Tabellen, die die Mittelwerte der Diagonalen gemessen in μ enthalten, wird zunächst die Streuung und dann der statistische Unterschied errechnet.

Die hier untersuchten Meßpunkte liegen:

- a) am Zahnkronenhals eine äußere- und eine innere Schmelzzone, wobei die äußere Schmelzzone ca $14 - 16 \mu$ von der Schmelzoberfläche und die innere Schmelzzone ca 5μ von der Schmelzdentingrenze entfernt gemessen wird. Der Unterschied der Randentfernung zwischen Schmelzoberfläche und Meßpunkt und Schmelzdentingrenze und Meßpunkt kommt zustande durch die geringe Stütze des Kunststoffkörpers an der Schmelzoberfläche, der das Einbrechen der äußersten Schmelzteile beim Eindruck der Diamantpyramide nicht verhindern kann, während die Schmelzprüffläche an der Schmelzdentingrenze durch die feste Anlage des Dentins bei dem Eindringen des Diamantkörpers gehalten wird. Die beiden Meßpunkte am Zahnkronenhals werden ca $18 - 20 \mu$ von der Zementgrenze entfernt angenommen.
- b) an der Zahnkronenmitte eine äußere-, mittlere- und innere Schmelzzone. Die drei Meßpunkte der Kronenmitte liegen mit gleicher Entfernung zwischen den Meßpunkten des Zahnkronenhalses und denen der Kaufläche. Die genaue Festlegung des Meßpunktes der mittleren Schmelzzone kann erst vorgenommen werden, wenn die Eindrücke an der äußeren und inneren Schmelzzone gemacht sind. Im Suchobjektiv werden die beiden ersten Meßpunkte eingestellt und eine gedachte Verbindungslinie zwischen den beiden Punkten wird halbiert, um die genaue Lage des mittleren

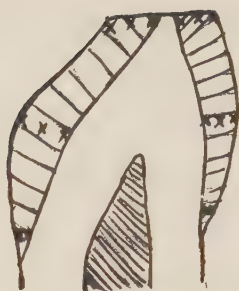
Eindruckes zu erhalten.

- c) auf der Kaufläche, eine äußere-, mittlere- und innere Schmelzzone. Hier befindet sich der äußere Meßpunkt an der Höckerspitze mit ca 14 - 16 μ Entfernung von der Schmelzoberfläche und der innere an der größten Ausdehnung der Schmelzdentingrenze mit ca 5 μ Entfernung.
- d) bei Prämolaren und Molaren noch sechs zusätzliche Meßpunkte an Höcker und Fissur. Der äußere Meßpunkt der Fissur liegt an der tiefsten Stelle der Einziehung mit ca 14 - 16 μ Randentfernung. Das gleiche gilt für den Eindruck an der Schmelzdentingrenze, ca 5 μ vom Dentin entfernt.
- e) Weitere Meßpunkte kommen dazu bei abradierten Kauflächen und zwar rechts und links von der Abrasion oder
- f) bei kariösen Veränderungen des Schmelzes werden in der Peripherie der Karies Meßpunkte angenommen, wobei die dem kariösen Defekt am nächsten liegenden, sichtbaren Eindrücke ausgewählt werden.





kariöser Molar



abradierter Eckzahn

Die Messungen werden an buccalen und palatinalen bzw. lingualen Schmelzpartien ausgeführt, die sich jedoch in ihren Werten nicht unterscheiden.

Ebenfalls kann man obere und untere Eckzähne, obere und untere Prämolaren und Molaren zusammennehmen, da sie in ihren Mittelwerten übereinstimmen. Ausgenommen die unteren Schneidezähne; sie werden von den oberen Schneidezähnen gesondert aufgeführt, weil ihre Messungen abweichende Werte ergeben.

Nicht jeder Eindruck ist auswertbar, da der Schmelz sehr oft in der Umgebung des zu messenden Rhombus Sprünge aufweist, die eine genaue Größenangabe der Diagonalen nicht zulassen. Meist müssen mehrere Eindrücke in einem bestimmten Umkreis durchgeführt werden, um eine Vergleichsmöglichkeit zu haben und den besten davon auswerten zu können.

Ich machte sehr schnell die Erfahrung, daß jugendliche

Zähne, von 6 bis 21jährigen Probanden, eine bessere Eindrückbarkeit und Meßbarkeit zeigten.

In der Peripherie kariöser Zerstörungen kommen nur die Meßstellen zur Auswertung in Frage, die in intaktem Schmelz ausgeführt werden.

6) Ergebnisse:

- a) Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Härtemessungen am Schmelz von verschiedenen Altersgruppen und verschiedenen Zahnkategorien, geteilt nach Zahnkronenhals, Kronenmitte, Kaufläche und Fissur sind Tabelle VII (Seite 44) zu entnehmen. Diese Mittelwerte sind von vielen Härtemessungen hergeleitet, die der Übersicht halber zusammengestellt sind. Die Tabellen I bis IV mit den Einzelmessungen, die der Tabelle VII zu Grunde liegen, sind als Anhang beigelegt. (Seite 72 - 75) Auf Tabelle VII fußen alle darauf folgenden Tabellen VIII, IX, X, XI, in denen die verschiedensten Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Schmelzhärtemessungen angestrengt wurden.
- b) Eine Übersicht der statistischen Unterschiede der Zahnkronenhärte zwischen den verschiedenen Altersgruppen ist in Tabelle VIII (Seite 45 - 46) angegeben. Die Meßwerte sind der Tabelle VII (Seite 44) entnommen.
- ↳ Bei jugendlichen Zähnen der Altersgruppe von 6 - 21 Jahren sieht man einen statistisch sicheren Unterschied gegenüber allen älteren Zahngruppen und zwar

Tabelle VII

Messwerte der Zähne verschiedener Altersgruppen

Alter der Proban- den	b u c c a l - p a l a t i n a l											
	Z a h n k r o n e n h a l s				K r o n e n m i t t e				K a u f l ä c h e		P i s s u r	
	Äußere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	
6 - 21 Jahre (bleibende Zähne)	27,3 $\pm$ 0,06	30,1 $\pm$ 0,2	27,0 $\pm$ 0,07	27,3 $\pm$ 0,09	30,3 $\pm$ 0,06	27,0 $\pm$ 0,07	27,4 $\pm$ 0,14	30,1 $\pm$ 0,09	27,1 $\pm$ 0	27,6 $\pm$ 0,07	29,9 $\pm$ 0	
22 - 30 Jahre	26,9 $\pm$ 0,09	29,6 $\pm$ 0,09	26,3 $\pm$ 0,06	27,3 $\pm$ 0,09	29,8 $\pm$ 0,09	26,2 $\pm$ 0,04	27,5 $\pm$ 0,15	30,1 $\pm$ 0,06	26,4 $\pm$ 0	27,5 $\pm$ 0	29,9 $\pm$ 0	
31 - 40 Jahre	26,2 $\pm$ 0,24	29,2 $\pm$ 0,42	25,7 $\pm$ 0,18	27,0 $\pm$ 0,26	29,6 $\pm$ 0,11	25,6 $\pm$ 0,11	27,0 $\pm$ 0,27	29,5 $\pm$ 0,4	26,4 $\pm$ 0,2	27,5 $\pm$ 0,1	30,0 $\pm$ 0,1	
41 - 60 Jahre	26,3 $\pm$ 0,1	29,0 $\pm$ 0,32	25,7 $\pm$ 0,03	26,9 $\pm$ 0,29	29,4 $\pm$ 0,32	26,0 $\pm$ 0,05	27,1 $\pm$ 0,25	29,6 $\pm$ 0,25	26,5 $\pm$ 0,03	27,4 $\pm$ 0,08	29,9 $\pm$ 0	

Vergleich der Zahnkronenhärte zwischen
den verschiedenen Altersgruppen

die zu vergleichenden Gruppen x	Z o n e n	statistische Auswertung
6 - 21 Jahre- 22 - 30 Jahre	Z a h n k r o n e n - h a l s Äußere Schmelzzone	sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre- 41 - 60 Jahre		auffälliger Unterschied
6 - 21 Jahre- 22 - 30 Jahre	Z a h n k r o n e n - h a l s Innere Schmelzzone	auffälliger Unterschied
6 - 21 Jahre- 41 - 60 Jahre		auffälliger Unterschied
6 - 21 Jahre- 22 - 30 Jahre	K r o n e n m i t t e Äußere Schmelzzone	sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre- 31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre- 41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied

Fortsetzung von Tabelle VIII

die zu vergleichenden Gruppen ^x	Z o n e n	statistische Auswertung
6 - 21 Jahre- 22 - 30 Jahre	K r o n e n m i t t e	sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 41 - 60 Jahre	Innere Schmelzzone	auffälliger Unterschied
6 - 21 Jahre- 22 - 30 Jahre	K a u f l ä c h e	sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre- 31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre- 41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre- 41 - 60 Jahre	Äußere Schmelzzone	sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 31 - 40 Jahre	F i s s u r	sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre- 41 - 60 Jahre	Äußere Schmelzzone	sicherer Unterschied

die nicht aufgeführten Vergleichsgruppen ergaben keinen statistischen Unterschied.

x = in der Spalte "die zu vergleichenden Gruppen", drückt die erstgenannte Altersgruppe den weicheren Wert aus.

sind sie im Bereich der äußeren Schmelzzone an Zahnkronenhals, Kronenmitte, Kaufläche und Fissur weicher, als die Zähne der übrigen Altersgruppen. An der inneren Schmelzzone ergibt die statistische Auswertung an Zahnkronenhals und Kronenmitte vereinzelt auffällige Unterschiede. An der mittleren Schmelzzone an Zahnkronenmitte, Kaufläche und Fissur bestehen keine statistischen Unterschiede.

β) Bei der Altersgruppe von 22 bis 30 Jahren zeigt die statistische Auswertung bei dem Vergleich mit älteren Zähnen an der äußeren Schmelzzone an Zahnkronenhals, Kronenmitte und Kaufläche einen überwiegend statistisch sicheren Unterschied, während an der mittleren und inneren Schmelzzone keine statistischen Unterschiede errechnet werden können, obwohl auch hier geringe höhere Meßergebnisse sich zeigen.

γ) Die beiden letzten Altersgruppen, 31 bis 40 Jahre und 41 bis 60 Jahre, halten sich an allen Meßstellen in Bezug auf ihre Härte die Waage.

c) Tabelle IX (Seite 48 - 49) enthält den Vergleich der Zahnkronenhärte innerhalb der gleichen Zone, indem die sagittalen Unterschiede bei einer Altersgruppe gezeigt werden. Die Meßwerte entstammen der Übersichtstabelle VII (Seite 44).

δ) An der äußeren Schmelzzone bei 6 bis 21 Jahren ergibt der Vergleich zwischen Zahnkronenhals und Kronenmitte,

Vergleich der Zahnkronenhärte innerhalb
der gleichen Zone. (in der Sagittalen)

Alters- gruppe	die zu vergleichenden Zonen ^x	statistische Auswertung
6 - 21 Jahre	Äußere Schmelzzonen	sicherer Unterschied
	Zahnkronenhals-Kronenmitte	
	Zahnkronenhals-Kaufläche	sicherer Unterschied
	Zahnkronenhals-Fissur	sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre	Äußere Schmelzzonen	sicherer Unterschied
	Zahnkronenhals-Kronenmitte	
	Zahnkronenhals-Kaufläche	sicherer Unterschied
	Zahnkronenhals-Fissur	sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre	Äußere Schmelzzonen	auffälliger Unterschied
	Zahnkronenhals-Kaufläche	
	Fissur-Kronenmitte	auffälliger Unterschied
	Fissur-Kaufläche	sicherer Unterschied

Fortsetzung von Tabelle IX

Alters- gruppe	die zu vergleichenden Zonen	statistische Auswertung
41 - 60 Jahre	Außere Schmelzzonen	sicherer Unterschied
	Zahnkronenhals-Kronenmitte	
	Zahnkronenhals-Kaufläche	auffälliger Unterschied
	Kaufläche-Kronenmitte	sicherer Unterschied
	Fissur-Kronenmitte	sicherer Unterschied
	Fissur-Kaufläche	sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre	Weitere Schmelzzonen	auffälliger Unterschied
	Fissur-Kronenmitte	
6 - 21 Jahre	Innere Schmelzzonen	
	Kronenmitte-Fissur	
22 - 30 Jahre	Innere Schmelzzonen	auffälliger Unterschied
	Kaufläche-Zahnkronenhals	
41 - 60 Jahre	Innere Schmelzzonen	auffälliger Unterschied
	Fissur-Zahnkronenhals	

die nicht aufgeführten Vergleichszonen ergaben
keinen statistischen Unterschied.

x = die in der Spalte "die zu vergleichenden Zonen"
zuerst genannten Zonen geben die weichenen Werte an.

Zahnkronenhals und Kaufläche und Zahnkronenhals und Fissur einen statistisch sicheren Unterschied, demzufolge zeigt die äußere Schmelzzone am Zahnkronenhals einen geringeren Härtegrad. Weniger klar erweisen sich bei der Altersgruppe von 6 bis 21 Jahren die Unterschiede an der mittleren und inneren Schmelzzone, da einmal die Fissur gegenüber der Kronenmitte einen auffälligen Unterschied, andermal die Kronenmitte gegenüber der Fissur einen sicheren Unterschied ergibt.

- β) Bei den Zähnen der Probanden im Alter von 22 bis 30 Jahren kann durch die statistische Auswertung ebenfalls ein sicherer Unterschied an der äußeren Schmelzzone zwischen Zahnkronenhals - Kronenmitte, Zahnkronenhals - Kaufläche und Zahnkronenhals - Fissur nachgewiesen werden, das bedeutet, daß auch hier die äußere Schmelzzone am Zahnkronenhals weichere Werte aufweist. Die einzelnen Werte der mittleren Schmelzzone zeigen bei der ebengenannten Altersgruppe keinen statistischen Unterschied. An der inneren Schmelzzone besteht nur ein auffälliger Unterschied zwischen Kaufläche und Zahnkronenhals, wobei der Wert der Kaufläche der weichere ist.
- γ) Bei der Altersgruppe von 31 bis 40 Jahren findet man an der äußeren Schmelzzone am Zahnkronenhals einen auffällig weicheren Härtegrad, als an der Kaufläche;

gegenüber der Kronenmitte ergibt sich am Zahnkronenhals statistisch keine geringere Härte. Dagegen erkennt man bei dieser Altersgruppe an der äußeren Schmelzzone einen weicheren Wert an der Fissur, verglichen mit Zahnkronenmitte und Kaufläche. Innerhalb der mittleren und inneren Schmelzzone lassen sich keine statistischen Unterschiede nachweisen.

g) Bei den Zähnen von 41 bis 60jährigen Probanden unterscheidet sich an der äußeren Schmelzzone wieder der Zahnkronenhals durch seine größere Weichheit gegenüber Kronenmitte und Kaufläche. Bei dem Vergleich Kaufläche - Kronenmitte an der äußeren Schmelzzone ergibt die Kaufläche einen statistisch nachgewiesenen weicheren Wert. Auch hier zeigt sich wie bei der vorherbesprochenen Altersgruppe von 31 bis 40 Jahren an der Fissur im Vergleich zur Zahnkronenmitte und Kaufläche eine geringere Schmelzhärte. Unterschiede an der mittleren Schmelzzone sind wie bei den beiden vorhergegangenen Altersgruppen statistisch nicht nachzuweisen. Lediglich an der inneren Schmelzzone erhält man an der Fissur eine geringere Härte als an dem Zahnkronenhals.

d) Tabelle X (Seite 52 - 53): Hier wird der Vergleich der Zahnhärte zwischen den verschiedenen Zonen in der Transversalen aufgezeigt. Auch die Meßwerte dieser Tabelle fußen auf Tabelle VII (Seite 44).

Tabelle A Vergleich der Zahnkronenhärte zwischen den verschiedenen Zonen. (in der Transversalen)

Alters- gruppen	die zu vergleichenden Zonen *	statistische Auswertung
6 - 21 Jahre	Zahnkronenhals	sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre	Äußere- und innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre	Kronenmitte	auffälliger Unterschied
22 - 30 Jahre	Äußere- und mittlere Schmelzzone	sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre	Kronenmitte	sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre	Äußere- und innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre	Kronenmitte	sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre	Mittlere- und innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre	Kaufläche	auffälliger Unterschied
22 - 30 Jahre	Äußere- und mittlere Schmelzzone	sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied

Fortsetzung von Tabelle X

Alters- gruppen	die zu vergleichenden Zonen x	statistische Auswertung
6 - 21 Jahre	K a u f f l ä c h e Äußere - und innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre		sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre	K a u f f l ä c h e Mittlere - und innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
22 - 30 Jahre		sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre	F i s s u r Äußere - und mittlere Schmelzzone	sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre	F i s s u r Mittlere - und innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied
6 - 21 Jahre		sicherer Unterschied
31 - 40 Jahre		sicherer Unterschied
41 - 60 Jahre		sicherer Unterschied

x = In der Spalte "die zu vergleichenden Zonen", gibt die erstgenannte Schmelzzone den härteren Wert an.

- α) Am Zahnkronenhals kann bei allen Altersgruppen ein sicherer Unterschied zwischen äußerer und innerer Schmelzzone gemessen werden, was besagt, daß die innere Schmelzzone geringere Härte aufweist, als die äußere.
- β) Bei dem Vergleich der Zonen der Zahnkronenmitte erhält man bei den Zähnen zwischen 6 bis 21 Jahren auffällige Unterschiede zwischen äußerer und mittlerer Schmelzzone, während bei den Altersgruppen von 22 bis 60 Jahren ein sicherer Unterschied vorhanden ist. Hier ist die mittlere Schmelzzone weicher als die äußere Schmelzzone. Vergleicht man weiterhin innerhalb der Zahnkronenmitte die äußere und die innere Schmelzzone bei allen Altersgruppen, so stellt sich durch hohe Zahlenwerte ein großer Unterschied und damit wieder größere Weichheit der inneren Schmelzzone heraus. Das gleiche Ergebnis kommt bei dem Vergleich zwischen mittlerer und innerer Schmelzzone der Zahnkronenmitte im Alter von 6 bis 60 Jahren zustande.
- γ) An der Kaufläche und der Fissur sieht man bei dem Vergleich der Zonen das gleiche Bild und zwar zunehmendes Weicherwerden des Schmelzes von der Schmelzoberfläche bis zur Schmelz-Dentingrenze.
- e) Die Mittelwerte der Tabelle XI (Seite 55) sind eine Zusammenfassung der Meßwerte aus Tabelle III und

Tabelle XI

Zusammenfassung von Meßergebnissen aus Tabelle III und IV.
Alter der Probanden 31 bis 60 Jahre

b u c c a l - p a l a t i n a l

M e s s t e l l e n

Zahn- kate- gorien	1, 1a ^x	2, 2a ^x	3, 3a ^x	4, 4a ^x	5, 5a ^x	6, 6a ^x	7, 7a ^x	8, 8a ^x	9, 9a ^x	10, 10a ^x	11, 11a ^x
	Z a h n k r o - n e n h a l s					K a u f l ä c h e			F i s s u r e n		
	Äußere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u
untere Schneide- zähne	25, 8 ⁻ 0,26 ⁻	27, 9 ⁺ 0,07 ⁻	25, 4 ⁺ 0,26 ⁻	26, 1 ⁺ 0,1 ⁻	28, 3 ⁺ 0,16 ⁻	25, 6 ⁺ 0,2 ⁻	26, 2 ⁺ 0,1 ⁻	28, 5 ⁺ 0,07 ⁻			
obere Schneide- zähne	26, 2 ⁺ 0,07 ⁻	29, 0 ⁺ 0,07 ⁻	25, 8 ⁺ 0,07 ⁻	26, 5 ⁺ 0,3 ⁻	29, 4 ⁺ 0,1 ⁻	25, 8 ⁺ 0,26 ⁻	26, 7 ⁺ 0,26 ⁻	29, 2 ⁺ 0,1 ⁻			
Eckzähne- u. Prämo- laren	26, 2 ⁺ 0,06 ⁻	29, 0 ⁺ 0,09 ⁻	25, 8 ⁺ 0,04 ⁻	27, 1 ⁺ 0,15 ⁻	29, 6 ⁺ 0,07 ⁻	26, 0 ⁺ 0,06 ⁻	27, 2 ⁺ 0,06 ⁻	29, 6 ⁺ 0,04 ⁻	26, 3 ⁺ 0,1 ⁻	27, 5 ⁺ 0,11 ⁻	29, 9 ⁺ 0,0 ⁻
Molaren	26, 7 ⁺ 0,07 ⁻	29, 8 ⁺ 0,0 ⁻	25, 8 ⁺ 0,07 ⁻	27, 3 ⁺ 0,0 ⁻	30, 1 ⁺ 0,07 ⁻	25, 7 ⁺ 0,2 ⁻	27, 3 ⁺ 0,1 ⁻	30, 2 ⁺ 0,0 ⁻	26, 6 ⁺ 0,0 ⁻	27, 4 ⁺ 0,26 ⁻	30, 0 ⁺ 0,1 ⁻

x = a = Messtellen der palatinalen Zahnseite

Tabelle IV, die im Anhang beigelegt sind.

In der dazugehörigen Tabelle XIa (Seite 57 - 58) mit der statistischen Auswertung, kommt es zu einem Vergleich der einzelnen Zahnkategorien von den Altersgruppen 31 bis 40 und 41 bis 60 Jahren, die in dieser Tabelle zusammengefaßt werden können unter der einen Altersgruppe 31 bis 60 Jahre.

Oben wurde schon erwähnt, daß diese beiden Altersgruppen sich an allen Meßstellen in Bezug auf ihre Härte nicht wesentlich unterscheiden. Die beiden Altersgruppen 6 bis 21 und 22 bis 31 Jahre habe ich absichtlich fortgelassen, da von jugendlichen Zähnen nicht so viele verschiedene Zahnkategorien gemessen werden konnten.

- ℓ) Am Zahnkronenhals, an der äußeren Schmelzzone ist zu ersehen, daß die Molaren, verglichen mit unteren Schneidezähnen, oberen Schneidezähnen und Eckzähnen und Prämolaren, weicher sind. Die übrigen Zahnkategorien zeigen am Zahnkronenhals an der äußeren Schmelzzone untereinander keinen statistischen Unterschied. Dagegen können an der inneren Schmelzzone des Zahnkronenhalses sichere Unterschiede zwischen allen Zahnkategorien errechnet werden. Die unteren Schneidezähne sind innerhalb dieser Zone härter als obere Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren und Molaren, gleichzeitig erkennt man einen größeren

Vergleich der einzelnen Zahnkategorien an Zähnen
von Probanden im Alter von 31 - 60 Jahren.

Die zu vergleichenden ^x Zahnkategorien	Z o n e n	statistische Auswertung
untere Schneidezähne und Molaren	Z a h n k r o n e n - h a l s Äußere Schmelzzone	sicherer Unterschied
obere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
Eckzähne, Prämolaren und Molaren		sicherer Unterschied
untere Schneidezähne und obere Schneidezähne	Z a h n k r o n e n - h a l s Innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
untere Schneidezähne, Eck- zähne und Prämolaren		sicherer Unterschied
untere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
obere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
Eckzähne, Prämolaren und Molaren		sicherer Unterschied
untere Schneidezähne, Eck- zähne und Prämolaren	K r o n e n m i t t e Mittlere Schmelzzone	sicherer Unterschied
untere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
obere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
untere Schneidezähne und obere Schneidezähne	K r o n e n m i t t e Innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
untere Schneidezähne, Eck- zähne und Prämolaren		sicherer Unterschied
untere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
obere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
Eckzähne, Prämolaren und Molaren		sicherer Unterschied

Fortsetzung von Tabelle XIa

Die zu vergleichenden ^x Zahnkategorien	Z o n e n	statistische Auswertung
untere Schneidezähne, Eck- zähne und Prämolaren	K a u f l ä c h e	sicherer Unterschied
untere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
obere Schneidezähne und Molaren		auffälliger Unterschied
untere Schneidezähne und obere Schneidezähne	K a u f l ä c h e	sicherer Unterschied
untere Schneidezähne, Eck- zähne und Prämolaren		sicherer Unterschied
untere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
obere Schneidezähne, Eck- zähne und Prämolaren		sicherer Unterschied
obere Schneidezähne und Molaren		sicherer Unterschied
Eckzähne, Prämolaren und Molaren		sicherer Unterschied
Prämolaren und Molaren	F i s s u r Äußere Schmelzzone	sicherer Unterschied

die nicht genannten Vergleiche gaben keinen statistischen Unterschied.

x = in der Spalte, "die zu vergleichenden Zahnkategorien", hat die erstgenannte Zahnkategorie den härteren Wert.

Härtegrad von oberen Schneidezähnen und Eckzähnen und Prämolaren gegenüber den Molaren.

- β) An der äußeren Schmelzzone der Zahnkronenmitte werden keine statistischen Unterschiede gefunden, während an der mittleren Schmelzzone der Kronenmitte die unteren Schneidezähne, verglichen mit Eckzähnen und Prämolaren und Molaren, härtere Werte errechnen lassen. Der Meßwert der oberen Schneidezähne an der Zahnkronenmitte, mittlere Schmelzzone ist härter als der der Molaren. An der inneren Schmelzzone der Kronenmitte ist das Ergebnis das gleiche wie an der inneren Schmelzzone des Zahnkronenhalses und zwar eine deutlich größere Härte der unteren Schneidezähne gegenüber den übrigen Zahnkategorien und klar hervortretende weichere Werte der Molaren bei dem Vergleich mit unteren Schneidezähnen, oberen Schneidezähnen und Eckzähnen und Prämolaren.

- γ) An der Kaufläche errechnet man an der äußeren Schmelzzone keine statistischen Unterschiede. Das Ergebnis der mittleren Schmelzzone der Kaufläche ist das gleiche, wie das der mittleren Schmelzzone der Zahnkronenmitte. An der inneren Schmelzzone der Kaufläche kommt es zu einer klar hervortretenden Staffelung der einzelnen Zahnkategorien und damit ein deutliches Weicherwerden der Zähne, begonnen mit unteren Schneidezähnen, über obere Schneidezähne,

Eckzähne und Prämolaren zusammengekommen, und Molaren.

- f) Weitere bemerkenswerte Unterschiede treten auf in der Tabelle Va (Seite 61) bei den vergleichenden Untersuchungen zwischen normalem und abradiertem Schmelz an den Kauflächen. Die zu Grunde liegenden Meßwerte sind in Tabelle V aufgezeigt, die den Einfluß der Abrasion auf die physikalische Härte des Zahnes enthält. (siehe Anhang Seite 76). An der Peripherie des abradierten Schmelzes findet man an allen Schmelzzonen eine geringere Härte der Zahnschubstanz als an der Kaufläche des normalen Schmelzes (statistisch sichere Unterschiede). Nach dem Vergleich der einzelnen Zonen des abradierten Schmelzes untereinander erkennt man auch hier die gleiche Staffelung innerhalb der verschiedenen Zonen der Kaufläche, wie bei normalem Schmelz und zwar zunehmendes Weicherwerden von der Schmelzoberfläche nach der Schmelzinnenfläche zu.
- g) Die Tabelle VIa (Seite 62) enthält die vergleichenden Werte zwischen normalem Schmelz und dem Schmelz der kariösen Fissuren der Prämolaren und Molaren. Die Meßwerte stammen aus Tabelle VI, die den Einfluß der Karies auf die physikalische Härte des Zahnes wieder-
 nhang Seite 77).

Schmelzzonen der Fissuren sieht man

Vergleich der Zahnkronenhärte
zwischen

a) normalem und abradierterem Schmelz

Zonen	statistische Auswertung
Äußere Schmelzzone normaler- abradierter Schmelz	sicherer Unterschied
Mittlere Schmelzzone normaler- abradierter Schmelz	sicherer Unterschied
Innere Schmelzzone normaler- abradierter Schmelz	sicherer Unterschied

Vergleich der Zahnkronenhärte
zwischen

b) den verschiedenen Zonen des
abradierten Schmelzes

Zonen	statistische Auswertung
Äußere Schmelzzone - Mittlere Schmelzzone	auffälliger Unterschied
Äußere Schmelzzone - Innere Schmelzzone	sicherer Unterschied
Mittlere Schmelzzone - Innere Schmelzzone	sicherer Unterschied

Tabelle VIa

Vergleich der Zahnkronenhärte
zwischen

normalem Schmelz und den kariösen
Fissuren der Prämolaren u. Molaren.

Zonen	statistische Auswertung
Außere Schmelzzone normaler Schmelz-Peripherie der kariösen Kavitäten	sicherer Unterschied
Mittlere Schmelzzone normaler Schmelz-Peripherie der kariösen Kavitäten	sicherer Unterschied
Innere Schmelzzone normaler Schmelz-Peripherie der kariösen Kavitäten	sicherer Unterschied

Bei dem Vergleich der Zahnhärte zwischen den verschiedenen Zonen des kariösen Schmelzes gaben die Werte keinen statistischen Unterschied.

statistisch nachgewiesene weichere Mittelwerte
an der Peripherie der Karies.

Bei dem Vergleich der Zahnkronenhärte zwischen den
verschiedenen Zonen des kariösen Schmelzes ergeben
die Werte keine statistischen Unterschiede, obwohl
die Ausmessung der Diagonalen etwas höhere Werte
an der inneren Schmelzzone zeigt.

IV. D I S K U S S I O N

Die verschiedenen Meßstellen an den Zähnen der Probanden im Alter von 6 bis 60 Jahren und ihr Vergleich durch die statistische Auswertung wurden oben erklärt. Hier wird nun die Aufgabe gestellt, hervorstechende Ergebnisse aufzuzeigen und zu diskutieren, um ein klares Bild der verschiedenen Härtegrade am Zahn selbst und an verschieden alten Zähnen untereinander aufzuzeichnen.

Besonders auffallend ist das Resultat bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Altersgruppen, wobei die äußere Schmelzzone sämtlicher gemessener Zahnabschnitte an jugendlichen Zähnen weicher ist, als bei allen übrigen älteren Zähnen. Auch die mittlere und innere Schmelzzone zeigt einen geringen zahlenmäßig weicheren Wert des jugendlichen Schmelzes, der aber statistisch nicht belegt werden kann.

Die Erklärung hierfür ist höchstwahrscheinlich in der Schmelzreifung zu suchen, durch die der Schmelz eine posteruptive Härte erfährt. Da die jungen Zähne dem Reifungsprozeß noch nicht so lange ausgesetzt sind wie die älteren, sind die weicheren Härteergebnisse durchaus zu verstehen.

Die vor allem an der Peripherie des Schmelzes hervorragenden, großen Härteunterschiede zwischen jüngeren und älteren Zähnen, sind zu belegen durch die direkte Berührung der äußeren Schmelzzone mit dem Speichel und

der dadurch in dieser Zone schon früher und intensiver einsetzenden Reifung.

Das zunehmende Weicherwerden des Schmelzes von der Schmelzoberfläche nach der Schmelzdentingrenze zu bei den Zähnen aller Altersgruppen, kann man mit dem langsamen Ablauf der Schmelzreifung in Zusammenhang bringen, die von der Peripherie aus nur langsam den Zahn durchsetzen kann.

Bei allen Altersgruppen ist bemerkenswert, daß am Zahnkronenhals die äußere Schmelzzone geringere Härtewerte zeigt, gegenüber allen übrigen Schmelzzonen. Diese Tatsache mag für die häufige Zahnkronenhalskaries von Bedeutung sein. Am Zahnkronenhals besitzt der Schmelz eine etwas andere Morphologie. Als Faktoren, die die Morphologie des Zahnkronenhalses beeinflussen könnten, sei z. B. die Blutversorgung der Schmelzpulpa erwähnt und die Wahrscheinlichkeit, daß der Schmelz des Zahnkronenhalses als letzter gebildet wird. Außerdem sind Randzonen biologisch gesehen immer gefährdet. Die tiefere Färbung dieser Region, bei der Untersuchung von W a n n e n m a c h e r (19), die im literarischen Teil angeführt ist, spricht für das soeben erwähnte.

Bei den Zähnen der Altersgruppen zwischen 31 bis 60 Jahren sind neben der geringeren Härte des Zahnkronenhalses weichere Werte vorwiegend an der Fissur im Bereich der äußeren Schmelzzone. Da die Fissuren keine kariösen Veränderungen im Mikroskop erkennen lassen, kann man den weicheren Wert damit begründen, daß der Schmelz in der Fissur dem Speichel nicht so stark ausgesetzt wird und dadurch die

Reifung nur bedingt ist. Durch die Tatsache dieses Befundes wird neben der mangelhaften Reinigungsmöglichkeit der Fissur von Speiseresten und Belägen und die dadurch entstehenden Säuren, die Kariesanfälligkeit der Fissur noch erhöht.

Werden die einzelnen Zahnkategorien älterer Zähne nebeneinander betrachtet, so sieht man, daß die äußere Schmelzzone am Zahnkronenhals der Molaren gegenüber anderen Zahnkategorien weicher ist. Die Molaren werden bekanntlich von einigen Autoren als Zusatzzähne oder als spätdurchbrechende Milchzähne bezeichnet. Ihre Verkalkungszeit liegt später im Kindesalter, als bei den Frontzähnen und Prämolaren. In diesem Alter wird das Kind nicht selten von Erkrankungen befallen, die die Mineralisation der Molaren beeinflussen könnte.

Ein klares Bild ergibt der Vergleich der inneren Schmelzonen an allen Zahnkronenabschnitten und ein Geringerwerden der Härte, begonnen mit unteren Schneidezähnen, oberen Schneidezähnen über Eckzähne und Prämolaren bis zu den Molaren. An den unteren Schneidezähnen ist der Schmelzmantel gegenüber dem der oberen Schneidezähne, Eckzähne, Prämolaren oder sogar Molaren bei weitem schmaler, und so ist es zu verstehen, daß die Schmelzreife schneller die Schmelzschicht durchdringen kann, und daher härtere Werte an der inneren Schmelzzone zur Folge hat.

Eine weitere Feststellung wurde bei abradierten Zähnen getroffen, wobei an den veränderten Kauflächen bei weitem weichere Werte gemessen wurden im Vergleich mit nicht abradierten Höckern. Die übrigen Schmelzabschnitte

der abradierten Zähne zeigen eine unveränderte Härtemessung.

Es ist wahrscheinlich, daß durch die laufende Abrasion die Schmelzreife gestört wird und daher die weicheren Härtewerte vorhanden sind. Bei dieser Erklärung ist allerdings zu bedenken, daß sie nur für eine sehr starke Abrasion zutrifft, die bis zur Freilegung des Dentins reicht. Hierbei wurden jeweils 3 Meßpunkte, an der äußeren-, mittleren- und inneren Schmelzzone beiderseits des an der Oberfläche sichtbaren Dentins gemessen. Handelt es sich um eine geringgradige Abrasion, ohne freigelegtes Dentin, dann käme der geringere Härtegrad auch durch den Verlust der äußeren, härteren Schmelzzone zustande, da der Meßpunkt der "eigentlichen äußeren Schmelzzone" schon im Bereich der mittleren Schmelzzone liegt.

Da an den gemessenen, kariösen Zähnen, die Karies überwiegend im Bereich der Fissuren verankert war, wurden an dieser Stelle gefundene Werte in vergleichenden Untersuchungen festgehalten. Die Meßstellen lagen an der Peripherie der Karies, wo es noch nicht zum Verfall der Hartsubstanz durch die Gärungssäuren gekommen war.

In den Fissuren haben retinierte Speisereste und Bakterien Säuren erzeugt, die eine Entkalkung des Schmelzes hervorgerufen haben. Hieraus ergeben sich weiche Werte, verglichen mit unveränderten Fissuren. Bei der Untersuchung der einzelnen Schmelzzonen des peripheren, kariösen Bereiches

bringt das Ergebnis keine Abnahme der Härte von der Peripherie zur Schmelz-Dentinggrenze, wie es bei normalem und abradiertem Schmelz der Fall ist.

Die weicheren Mittelwerte an der äußeren Schmelzzone des Zahnkronenhalses an einigen Prämolaren und Molaren, die nicht durch mikroskopisch ersichtliche, kariöse Veränderungen gekennzeichnet waren, sind eventuell auf die mit der Zahnbürste schwer zu entfernen- den Beläge zurückzuführen. Die durch die Beläge freiwerdende Säure kann in die äußere Schmelzzone eindringen und eine Auflockerung der obersten Schmelzschicht des Zahnkronenhalses bewirken, der ja in seiner Morphologie eine natürliche Abweichung zeigt.

Von W a n n e n m a c h e r (41) wird eine erhöhte Durchlässigkeit der äußeren Schmelzschichten durch Diffussionsversuche nachgewiesen, so daß auch eine Diffusion von Säuren in äußere Schmelzbezirke für wahrscheinlich gehalten werden kann.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Härte des menschlichen Schmelzes nicht durch die Angabe e i n e r Zahl, die seine Härte ausdrücken soll, wiedergegeben werden kann, da er an den verschiedenen Schmelzzonen, den verschiedenen Zahnkronenabschnitten, bei unterschiedlichen Altersstufen und Zahnkategorien durch eine höhere oder geringere Härte gekennzeichnet ist.

Der Schmelz behält seine, durch Mineralisation während

der Entwicklung erreichte Härte nicht bei, sondern verändert sie im Laufe des Lebens, wie es in verschiedenen Fällen des Reifungsprozesses oder das Auflockern des Schmelzes durch Gärungssäuren gezeigt wurde.

V. S C H L U S S B E T R A C H T U N G.

E u l e r (42) stellte mehrere Statistiken über Kariesbefall zusammen, wonach die einzelnen Zahnkategorien verschieden stark betroffen werden. Danach verfallen die ersten Molaren weitaus am häufigsten der Karies, es folgen die zweiten Molaren, die oberen Prämolaren und oberen Schneidezähne, dann die unteren zweiten Prämolaren, die Weisheitszähne und die oberen Eckzähne. An letzter Stelle stehen die unteren ersten Prämolaren, die unteren Eckzähne und am widerstandsfähigsten erscheinen die unteren Schneidezähne.

Verglichen mit meiner Arbeit konnte ich in Bezug auf die Härte der äußeren Schmelzzone bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Zahnkategorien keinen Unterschied feststellen. Vielleicht bestätigt der Vergleich der inneren Schmelzzone der einzelnen Zahnkategorien aller Zahnkronenabschnitte annähernd die statistische Zusammenstellung von E u l e r (42), indem die Härte von den Molaren bis zu den unteren Schneidezähnen zunimmt.

Auch die besondere Kariesanfälligkeit von Zahnkronenhals und Fissur finden durch meine Ergebnisse eine Erklärung.

Der Unterschied in der Härte zwischen den Zähnen von jugendlichen und älteren Probanden zeigt, daß auch für forensische Untersuchungen die Härtemessungen an den Molaren herangezogen werden können, vorausgesetzt, daß die Zähne nicht ausgetrocknet sind.

VI. Z U S A M M E N F A S S U N G.

In der hier vorliegenden Arbeit wird die Härte des Schmelzes in vergleichenden Untersuchungen dargelegt. Als Versuchsmaterial dienten extrahierte Zähne von Probanden im Alter von 6 bis 61 Jahren. Nach einer extra dazu ausgearbeiteten Methode werden Schliffe hergestellt, um die Härte des Schmelzes im "Durimet" von L e i t z messen zu können.

Es wurden an 325 gesunden, kariösen und abradierten vitalen Zähnen aller Zahnkategorien 3398 Messungen vorgenommen. Die Meßpunkte lagen am Zahnkronenhals, in einer äußeren und einer inneren Schmelzzone, an der Kronenmitte, der Kaufläche und der Fissur in einer äußeren-, mittleren- und inneren Schmelzzone. Es wurde die buccale und palatinale bzw. linguale Schmelzschicht gemessen. Zusätzliche Meßpunkte wurden an kariösen und abradierten Zähnen durch die Härteprüfung in unmittelbarer Nähe der kariösen Kavität, nicht aber in aufgelockerter Zahnhartsubstanz, und an abradierten Kauflächen durchgeführt.

Durch die statistische Auswertung konnten folgende Härteunterschiede festgehalten werden:

Die äußere Schmelzzone jugendlicher Zähne zeigte eine geringere Härte gegenüber älteren Zähnen.

Innerhalb einer Altersgruppe wurden an jungen und alten Zähnen weichere Werte an der äußeren Schmelzzone des Zahnkronenhalses gemessen, während bei alten Zähnen zusätzlich geringere Härtegrade an der Fissur vorhanden waren.

Bei dem Vergleich der Zahnkronenhärte zwischen den verschiedenen Zonen des Schmelzes erkannte man bei allen Altersgruppen, daß der Schmelz nicht an allen Abschnitten die gleiche Härte aufwies, sondern daß die innere Schmelzzone weicher war als die mittlere- und diese wiederum weicher als die äußere Schmelzzone.

Die einzelnen Zahnkategorien untereinander verglichen, zeigten eine geringer werdende Härte der inneren Schmelzzone von unteren Schneidezähnen, über obere Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren bis zu Molaren.

Der abradierte Schmelz an den Kauflächen war weicher als der Schmelz normaler Kauflächen.

Die Meßpunkte in unmittelbarer Nähe der kariösen Kavität ergaben ebenfalls weichere Mittelwerte.

Eine Auflockerung des Schmelzes, vorwiegend auf der buccalen und auch auf der buccalen und lingualen Zahnkronenseite an der äußeren Schmelzzone von unteren Prämolaren, unteren Molaren und zwei oberen Weisheitszähnen wurde festgestellt. Eine makroskopische und mikroskopische Schmelzbeschädigung war nicht vorhanden.

Meine Ergebnisse zeigen, daß man exakte Messungen am Schmelz durchführen kann. Wenn B r u c k n e r (43) behauptet, daß die Ausmessung des Eindrucks im Schmelz unmöglich vorgenommen werden konnte, da durch seine Schleif- und Poliermethode einzelne Schmelzprismen herausgerissen wurden und daher im Härtemikroskop keine ebene, sondern eine zer-

klüftete Fläche erschien, so möchte ich sagen, daß die Ursache hierfür an seiner Versuchsanordnung gelegen haben muß.-(Siehe Seite 29, Herstellung der Schliffpräparate).

Tabelle I

Messergebnisse der Zähne von Probanden im Alter von 6-21 Jahren (bleibende Zähne)

b u c c a l - p a l a t i n a l															
M e s s e r g e b n i s s e															
1, 1a ^x	2, 2a ^x	3, 3a ^x	4, 4a ^x	5, 5a ^x	6, 6a ^x	7, 7a ^x	8, 8a ^x	9, 9a ^x	10, 10a ^x	11, 11a ^x				XX	
Zahnkronen			Kronenmitte			Kaufläche			Fissur						Anzahl der Messstellen
Äußere Schmelzzone M W / u	Innere Schmelzzone M W / u	Äußere Schmelzzone M W / u	Mittlere Schmelzzone M W / u	Innere Schmelzzone M W / u	Äußere Schmelzzone M W / u	Mittlere Schmelzzone M W / u	Innere Schmelzzone M W / u	Äußere Schmelzzone M W / u	Mittlere Schmelzzone M W / u	Innere Schmelzzone M W / u					
27,4	29,7	26,9	27,2	30,2	26,9	27,1	30,0							26	
27,3	30,3	27,1	27,4	30,3	27,1	27,5	29,9	27,1	27,5	29,9				57	
27,2	30,3	26,9	27,3	30,4	27,1	27,5	30,3	27,1	27,6	29,9				181	
27,3	30,1	27,0	27,3	30,3	27,0	27,4	30,1	27,1	27,6	29,9				264	
Summe der Messstellen														264	

x = a = Messtellen der palatinalen Zahnseite. XX = Anzahl der Zähne = 6.

x = a = Messtellen der palatinalen Zahnseite. XX = Anzahl der Zähne = 16.

Tabelle II
Messergebnisse der Zähne von Probanden im Alter von 22 - 30 Jahren.

M e s s t a t e l l e n												
	1, 1a ^x	2, 2a ^x	3, 3a ^x	4, 4a ^x	5, 5a ^x	6, 6a ^x	7, 7a ^x	8, 8a ^x	9, 9a ^x	10, 10a ^x	11, 11a ^x	XX
Zahnkronen			Kronenmitte			Kaufläche			Fissur			Anzahl der Messstellen
kategorien			Äußere Mittlere Innere Schmelzzone MW / u MW / u MW / u			Äußere Mittlere Innere Schmelzzone MW / u MW / u MW / u			Äußere Mittlere Innere Schmelzzone MW / u MW / u			
Schneide- u. Eckzähne	27,1	29,5	26,4	27,4	29,7	26,3	27,8	30,0				58
Prämolaren	26,9	29,6	26,2	27,1	29,8	26,2	27,5	30,1				29
Molaren	26,8	29,8	26,3	27,3	30,0	26,2	27,3	30,2	26,4	27,5	29,9	452
Mittelw. d. obig. Mittelw.	26,9	29,6	26,3	27,3	29,8	26,7	27,5	30,1	26,4	27,5	29,9	539
Summe der Messstellen												Summe der Messstellen

x = a = Messtellen der palatinalen Zahnseite. XX = Anzahl der Zähne = 41.

Tabelle III

Messergebnisse der Zähne von Probanden im Alter von 31 - 40 Jahren

M e s s t e l l e n														XX
	1, 1a ^x	2, 2a ^x	3, 3a ^x	4, 4a ^x	5, 5a ^x	6, 6a ^x	7, 7a ^x	8, 8a ^x	9, 9a ^x	10, 10a ^x	11, 11a ^x	F i s s u r		Anzahl der Mess- stellen
Zahn- kate- gorien	Z a h n k r o - n e n h a l t					K a u f l ä c h e					F i s s u r		XX	
	Äußere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	Äußere Schmelz- zone M W / u	Mittlere Schmelz- zone M W / u	Innere Schmelz- zone M W / u	XX		
untere Schneide- zähne	25,5	27,9	25,1	26,2	28,4	25,4	26,1	28,4					32	
obere Schneide- zähne	26,1	29,0	25,8	26,8	29,5	25,5	26,9	29,1					177	
Främo- laren	26,2	29,2	25,8	27,2	29,7	25,9	27,2	29,7	26,2	27,4	29,9		259	
Molaren	26,6	29,8	25,8	27,3	30,1	25,5	27,2	30,2	26,6	27,6	30,1		270	
Mittelw. d. obig. Mittelw.	26,2	29,2	25,7	27,0	29,6	25,6	27,0	29,5	26,4	27,5	30,0		738 Summe der	

x = a = Messtellen der palatinalen Zahnseite. XX = Anzahl der Zähne = 62.
Summe der Messtellen

Tabelle IV Messergebnisse der Zähne von Probanden
im Alter von 41 - 60 Jahren

b u c c a l - p a l a t i n a l										
M e s s s t e l l e l e n										
	1, 1a ^x	2, 2a ^x	3, 3a ^x	4, 4a ^x	5, 5a ^x	6, 6a ^x	7, 7a ^x	8, 8a ^x	9, 9a ^x	10, 10a ^x 11, 11a ^x
Zahnkategorie	Zahnkronen			Zahnkrone			Zahnkrone			XX
	Äußere Schmelzzone MW / u	Innere Schmelzzone MW / u	Äußere Schmelzzone MW / u	Mittlere Schmelzzone MW / u	Innere Schmelzzone MW / u	Äußere Schmelzzone MW / u	Mittlere Schmelzzone MW / u	Innere Schmelzzone MW / u	Äußere Schmelzzone MW / u	Mittlere Schmelzzone MW / u
untere Schneidezähne	26,0	27,8	25,6	26,0	28,1	25,8	26,3	28,5		
obere Schneidezähne	26,2	28,9	25,7	26,2	29,3	26,0	26,4	29,3		
Eckzähne	26,1	28,9	25,7	26,8	29,5	26,1	27,1	29,6		
Prämolaren	26,3	29,0	25,8	27,3	29,5	26,0	27,3	29,6	26,4	27,6
Molaren	26,7	29,8	25,7	27,3	30,0	25,9	27,4	30,2	26,6	27,1
Mittelw. d. obig. Mittelw.	26,3	29,0	25,7	26,9	29,4	26,0	27,1	29,6	26,5	27,4

x = a = Messtellen der palatinalen Zahnseite. XX = Anzahl der Zähne = 107.

Summe der Messtellen

1560

291

244

379

486

1560

Tabelle V

Einfluß der Abrasion auf die physikalische Härte des Zahnes.

Alter der Proban- den	Zahn- kate- gorie	K										Summe der Messungen der Abrasi- onsstellen						
		a		u		f		l		ä			c		h		e	
		äußere Schmelzzone		Mittlere Schmelzzone		innere Schmelzzone												
		normaler Schmelz MW / u	abradierter Schmelz MW / u	normaler Schmelz MW / u	abradierter Schmelz MW / u	normaler Schmelz MW / u	abradierter Schmelz MW / u	normaler Schmelz MW / u	abradierter Schmelz MW / u	normaler Schmelz MW / u	abradierter Schmelz MW / u							
22-30 Jahre	Molaren	26,2	28,5	27,3	28,0	30,2	31,9						6					
31-40 Jahre	obere Schneide- zähne	25,5	28,1	26,9	28,6	29,1	30,7						6					
31-40 Jahre	Molaren	25,5	27,7	27,2	28,7	30,2	31,3						6					
41-60 Jahre	Prämo- laren	26,0	28,1	27,3	28,8	29,6	30,9						51					
41-60 Jahre	Molaren	25,9	28,5	27,4	28,8	30,2	31,5						33					
Mittelw. d. obig. Mitte W.		25,8+0,14	28,2+0,15	27,2+0,09	28,7+0,16	29,9+0,22	31,4+0,22						102					

X = Anzahl der Zähne = 34.

Summe der
Messstellen

X = Anzahl der Zähne = 34.

Tabelle VI

Einfluss der Karies auf die physikalische Härte des Zahnes.

Fissuren der Prämolaren und Molaren

Alter der Probanden	Äußere Schmelzzone		Mittlere Schmelzzone		Innere Schmelzzone		X Anzahl der Messstellen an der Peripherie der Karies
	normaler Schmelz MW / u	Peripherie der kariösen Kavitäten MW / u	normaler Schmelz MW / u	Peripherie der kariösen Kavitäten MW / u	normaler Schmelz MW / u	Peripherie der kariösen Kavitäten MW / u	
6-21 Jahre (bleibende Zähne)	27,2	31,5	27,7	31,8	29,9	33,5	9
22 - 30 Jahre	26,4	30,7	27,5	30,4	29,9	31,2	69
31 - 40 Jahre	26,4	30,8	27,5	30,6	30,0	31,4	39
41 - 60 Jahre	26,5	30,5	27,3	30,1	29,9	31,2	78
Mittelw. d. obig. Mittelw.	26,6 ± 0,19	30,9 ± 0,22	27,5 ± 0,08	30,7 ± 0,47	29,9 ± 0,03	31,8 ± 0,56	195

X = Anzahl der Zähne = 65.

Summe der Mess-
stellen

VII. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S.

- 1) Studnicka, F.K. und Bazant, V.: Das Problem der Vitalität des Zahnschmelzes
Verlag der Königl. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften, Prag (1941)
- 2) Hoppe, F.: Untersuchungen über die Konstitution des Zahnschmelzes.
Virchows Arch. 24, 13, (1862)
- 3) Burg, F.: Neue spezifische Härtebestimmungen der Hartsubstanzen des Zahnes.
med. Dissertation, Halle (1922)
- 4) Proell, F. und Schubert: Die Ritzhärte des Schmelzes.
Österreichische Zeitschrift für Stomatologie 26, 1047, (1928)
- 5) Atkinson H.F. und Saunbury, P.: An investigation into the hardness of human enamel.
Brit. Dent. Journ. 94, 249, (1953)
- 6) Wetzel, G.: Lehrbuch der Anatomie für Zahnärzte.
(6. überarbeitete Auflage)
Verlag Gustav Fischer, Jena 1951.
- 7) Helmcke, J.G.: Elektronenmikroskopische Struktur-
untersuchungen an gesunden und kranken Zähnen.
D Z Z 10, 1461, (1955)

- 8) Kohári, S. und Bóna, K.: Vergleichende elektronenmikroskopische Untersuchungen von Zahnschmelz und Dentin bei Individuen verschiedenen Alters.
D Z Z 15, 1009, (1960)
- 9) Höhling, H.J.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an gesunden und kariösem Zahnschmelz unter besonderer Berücksichtigung der Ultramikrotomschnitt-Technik an nicht entmineralisierter Substanz.
D Z Z 16, 694, (1961)
- 10) Rheinwald, U. und Staehle, G.: Untersuchungen zur Frage der Remineralisation des Schmelzes.
Stoma 2, 259, (1949)
- 11) Armstrong, W.D. und Brekhus, P.J.: Chemical constitution of enamel and dentine. I. Principal components.
Journ, Biol. Chem. 120, 677, (1937)
- 12) Bowes, J.H. und Murray, M.M.: The chemical composition of teeth.
II. The composition of human enamel and dentine.
- 13) Maulbetsch, A., Arch. Internat. de Pharmakodyn. et de Rutishauser, E. und Thérapie 53, 55, (1936)
- 14) Cruickshank, D.B.: Brit. Dent. Journ. 68, 257, (1945)
- 15) Murray, M.M., Brit. Dent. Journ. 66, 345, (1939)
Glock, G.E. und Lowater, F.:

- 16) Meyer, W.: Port - Euler, Lehrbuch der Zahnheilkunde
(6. Auflage) Verlag v. J.F. Bergmann
München (1951)

- 17) Polonovski, M. und Etude des protéases de l'os.
Cartier, P.: I. Les protéinases.
Bulletin de la société Chimie Biologique
28, 247, (1946)

- 18) Eggers-Lura, H.: Biochemie und Stoffwechsel der harten
Zahngewebe.
D Z Z 4, 934, (1949)

- 19) Wannenmacher, E.: Das biologische Verhalten des Schmelzes
unter Berücksichtigung von experimentellen
Ergebnissen mit radioaktiven Stoffen
(Isotopen).
D Z Z 4, 925, (1949)

- 20) Forshufvud, St.: Genese und Prophylaxe der Karies.
Z M K H, 4, 18. (1950)

- 21) Fischer, G.: Normale und pathologische Biologie des
Zahnsystems.
Schmitt-Verlag, Berlin, Bielefeld,
München (1953)

- 22) Pickerill, H.P.: Verhütung von Zahnkaries und Mundsepsis.
Verlag H. Meuser, Berlin (1913)

- 23) Volker, J.F. und A Study of the Phosphorus Metabolism in
Soggennaes, R.F.: the Dental Tissues of a Cat by the Use of
Radioactive Phosphorus.
Journ. Dent. Res. 19, 292, (1940)
- 24) Pedersen, P.O. und Untersuchungen über Stoffwechsel in den
Schmidt-Nielsen, B.: Zahnhartgeweben menschlicher Zähne unter
Anwendung radioaktiven Phosphors als
Indikator.
S M f Z 51, 647, (1941)
- 25) Wolf, J. und Reparative Vorgänge an der Oberfläche
Neuwirth, F.: natürlich und künstlich hervorgerufener
Schmelzdefekte.
D Z M K 8, 222, (1941)
- 26) Head, J.: Enamel softening and rehardening as a
factor in erosion.
Dental Cosmos 52, 46, (1910)
- 27) Andresen, V.: Mineralisation und Remineralisation des
Zahnschmelzes.
D M f Z 39, 97, (1921)
- 28) Ehrensberger, M.: Über künstlich erzeugte Karies incipiens
des Schmelzes und die Remineralisations-
möglichkeit der natürlich entstandenen
Karies incipiens.
S M f Z 40, 113, (1930)

- 29) Keil, A.: Der menschliche Zahnschmelz im kariösen Zustand.
Bericht der 73. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde in Berlin.
T. 2, 152, München (1937)
- 30) Applebaum, E. Normal and pathological variations in
Hollander, F. calcification of teeth as shown by
Boedecker, C.F.: the use of soft - x - rays.
Dental Cosmos 75, 1097, (1933)
- 31) Nishimura, F.: Histologische Untersuchungen über die
Anfänge der Zahnkaries, speziell der
Karies des Schmelzes.
S M f Z 36, 491 (1926)
- 32) Knappwost, A. und Phosphatgehalt des Speichels während
Kuppe, K.: Gravidität und Laktationsperiode.
D Z Z 6, 1238, (1951)
- 33) Ericsson, Y.: Enamel - apatite solubility Investigations into the calcium phosphate equilibrium between enamel and saliva and its relation to dental caries.
Acta odontol. scand 8, 3 (1949)
- 34) Rozeik, F.: Xerostomie und Kariesgenese unter Berücksichtigung tierexperimenteller Untersuchungen. Med. Habilitationsschr.
Mainz (1958)

- 35) Andresen, V.: Mineralisationszemente zur Behandlung der Karies incipiens.
D M f Z 40, 707, (1922)
- 36) Leimgruber, C.: Der Mechanismus der normalen Schmelzreifung.
S M f Z 56, 584, (1946)
- 37) Keil, A.: Über den Feinbau der harten Zahnschubstanzen nach Untersuchungen im polarisierten Licht.
D Z M K 2, 741, (1935)
- 38) Schmitz, E.: Über Beziehungen zwischen Speichel und Zahn.
D Z M K 10, 106, (1943)
- 39) Weber, R.: Frage des Lebens in den harten Zahnschubstanzen und der Remineralisation des Schmelzes.
- 40) Leitz, E.: Anleitung zum Arbeiten mit Kleinhärteprüfer Durimet.
Druck E. Leitz G M B H, Wetzlar (1959)
- 41) Wannemacher, E. und Erbacher, O.: Zur Frage von Stoffwechselvorgängen in den Zahnhartgeweben.
D Z M K 8, 201, (1941)
- 42) Euler, H.: Lehrbuch der Zahnheilkunde (6. Auflage), Verlag v. J.F. Bergmann, München 1951.
- 43) Bruckner, S.: Experimentelle Untersuchungen über die Härte der Wurzelkanalwand und der Dentinmantelzone med. Dissertation, Mainz 1959.

Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Dr. Herrmann für die Anregung der Arbeit, Herrn Privat - Dozent Dr. Rozeik für die Überlassung des Themas und die freundliche Unterstützung bei der Arbeit und Herrn Professor Dr. Baier für sein freundliches Entgegenkommen, mit dem er mir Arbeitsmöglichkeit in dem mineralogischen Institut bot.

L E B E N S L A U F.

Ich bin am 20. November 1934 in Gemünden/Hunsrück geboren, als Tochter des Amtsbürgermeisters Dr. Philipp Giloi und seiner Ehefrau Frieda geb. Dhonau.

Ich besuchte die Grundschule in Stromberg/Hunsrück vom Herbst 1941 bis Frühjahr 1945.

Ab Herbst 1945 besuchte ich das staatliche, neusprachl. Gymnasium in Sobernheim, wo ich im März 1954 das Abitur bestand.

Im Mai 1954 begann ich das Studium der Zahnheilkunde und legte im Herbst 1956 die zahnärztliche Vorprüfung an der Johannes Gutenberg Universität in Mainz ab.

Das zahnmedizinische Staatsexamen beendete ich im Herbst 1959.

Zur Zeit bin ich in eigener Praxis in Sobernheim tätig.

Seit 1954 bin ich verheiratet und habe zwei Kinder.

